

Teknillinen Korkeakoulu
Rakennus- ja maanmittaustekniikan osasto

**PAIKALLA VALETUN PILARI-LAATTA -RUNGON TUOTANNON NOPEUTTAMINEN
TYÖNSUUNNITTELUN AVULLA**

Teknillisen korkeakoulun rakennus- ja
maanmittaustekniikan osaston rakentamis-
talouden oppituolille tehty diplomityö

Espoo, kesäkuu 1994
Tekniikan ylioppilas



Timo Pennanen

Valvoja: Prof. Juhani Kiiras
Ohjaaja: Dipl.ins. Sakari Toikkanen

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Teknillisen korkeakoulun rakennus- ja maanmittaustekniikan osastolla rakentamistalouden laboratoriossa professori Juhani Kiiraksen valvonnassa. Työtä on ohjannut diplomi-insinööri Sakari Toikkanen.

Työn toimeksiantajana on ollut Teknillisen korkeakoulun rakennus- ja maanmittaustekniikan osaston betonitekniikan laboratorio. Tutkimus on osa meneillään olevaa betoniteollisuuden teknologiaohjelmaa ja siihen sisältyvää paikallavalu-rakentamisen tavoitetutkimusta.

Haluan kiittää tutkimuksen valvojaa ja ohjaajaa heidän antamistaan ohjeista ja neuvoista. Lisäksi kiitän kaikkia tähän tutkimukseen osallistuneita sujuvasta yhteistyöstä. Erityisesti haluan kiittää lähimmäisiäni, jotka ovat kannustaneet ja tukeneet työn tekemisessä.

Espoossa 30.6.1994



Timo Pennanen

Tekijä: Timo Pennanen

Työn nimi:

Paikallavaletun pilari-laatta -rungon tuotannon nopeuttaminen työnsuunnittelun avulla

Päivämäärä: 30.6.1994

Sivumäärä: 100

Osasto:

Rakennus- ja maanmittaustekniikan osasto

Professuuri:

Rakentamistalous

Työn valvoja: Prof. Juhani Kiiras

Työn ohjaaja: DI Sakari Toikkanen

Tutkimuksen tavoitteena oli nopeuttaa paikallavalettavan pilari-laatta -rungon tuotantoa siten, että hankkeen rakennusaika lyhenee 30 % nykyisestä ilman oleellista kustannusten kasvua.

Tavoitteen saavuttamiseksi luotiin menettely paikallavalettavan pilari-laatta -rungon tuotannon suunnittelemiseksi ja toteuttamiseksi OPAS ja TURVA -mallin mukaisena tahdistettuna tuotantona. Tutkimuksessa kehitettiin teoreettinen malli rungon tuotannon nopeuttamiseksi työnsuunnittelun avulla. Mallin avulla tutkittiin hypoteettisen kohteen rungon tuotannon nopeuttamista ja selvitettiin nopeuttamisen vaikutukset sisävalmistusvaiheen tuotantoon. Kehitetty malli testattiin kolmessa testikohteessa.

Rungon tuotantonopeutta lisättiin työryhmien koostumusta ja tehtävien työsisältöä muuttamalla. Tuotantonopeus kasvoi nykyisestä 100 m² / tv jopa viisinkertaiseksi.

Rungon tuotannon nopeuttamista säätelevät tuotantotekniikasta johtuva kerrosriippuvuus, työvuoron pituuteen sidoksissa oleva päiväriippuvuus sekä muottikaluston tarpeen määräävä kalustoriippuvuus. Työvoimaresurssit pidetään pienenä ja työryhmien töiden jatkuvuus suunnitellaan tarkasti työkohteittain.

Rakennusajan lyhentämiseen käytettävät menetelmät riippuvat kohteen laajuudesta ja tuotantoteknisistä suunnitelmista. Suuren kohteen rakennusajan lyhentämisessä runkovaiheen nopeuttamisen vaikutus on suuri. Pienen kohteen rakennusaikaa lyhennetään parhaiten lyhentämällä sisävalmistusvaiheen läpimenoaikaa.

Tuotantonopeuden kasvattaminen ja läpimenoajan lyhentäminen lisäävät rakennusajan kireydestä johtuvaa häiriöherkkyyttä. Tuotannon häiriintymisen riskiä pienennetään työnsuunnittelulla, tehtävien lyhyillä kestoilla, pienellä riippuvuuksien määrällä sekä suunnitelmien mukaisella toteutuksella ja tuotannon ohjauksella.

Author: Timo Pennanen**Name of the thesis:**

Accelerating the production of a concreted column slab construction by detailed planning

Date: 30.6.1994**Number of pages:** 100**Faculty:**Faculty of Civil Engineering
and Surveying**Professorship:**Construction Economics
and Management**Supervisor:** Prof. Juhani Kiiras**Instructor:** M.Sc.C.E. Sakari Toikkanen

The aim of this research was to make directions to accelerate the production of a concreted column slab construction in order to shorten the construction period by 30 % of its normal length without raising the costs significantly.

The method for planning and scheduling the production was established to achieve the aim of the research. The method used in this research is based on the theory of the lines of balance and the OPAS and TURVA method. The method established was used in the research of shortening the construction period of a hypothetical office building, and finding out the effects of shortening on the internal construction period's production. The method developed was tested for three example buildings.

The speed of the concrete frame production was accelerated by varying the consistency of the working group and the content of the work. The speed of the production increased from the normal level 100 m² / day to even 500 m² / day.

The methods used in shortening the construction period vary, depending on the size of the building and its structural plans and design. When shortening the construction period of a large building, the influence of accelerating the concrete frame building time is significant. The best way of shortening the construction period of a small building is to reduce the execution time of the internal construction period.

Increasing the speed of production and shortening its execution time increases the sensitivity of disturbance of production. The risk of exceeding the construction period is diminished by having free working areas and short activities, avoiding a great number of relationships between the tasks and adhering to the planned schedule. Controlling the production is the primary means of avoiding risks of delay. Short construction periods require logical, tight schedules and the strict following of all production plans.

ALKUSANAT

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	7
1.1.	Tausta	7
1.2.	Tutkimuksen tavoitteet, rajaukset ja menetelmä	8
2.	RAKENNUSAJAN LYHENTÄMISEN TEORIA	9
2.1.	Rakentamisen tuotantomallit	9
2.1.1.	Kriittinen polku	10
2.1.2.	OPAS-teoria	11
2.1.3.	Solutuotanto	13
2.2.	Perinteinen kriittisen polun Crash up -teoria	16
3.	RAKENNUSAJAN LYHENTÄMINEN TAHDISTETUSSA TUOTANNOSSA	22
3.1.	Paikan rakennusaika	22
3.2.	Tehtävien nopeuttaminen	25
3.3.	Aloitussvälin lyhentäminen	29
3.4.	Tehtävien vähentäminen	30
3.5.	Rakennusajan lyhentämistavan valinta	32
4.	RUNGON TUOTANNON SUUNNITTELU	35
4.1.	Paikallavalurungon tuotantotekniikka	35
4.2.	Tehtävien tahdistus ja rytmitys	37
4.3.	Runkovaiheen aikataulun laatiminen	39
4.4.	Muottikalustotarkistus	42
5.	RUNGON TUOTANNON NOPEUTTAMINEN	44
5.1.	Rungon tuotannon nopeuttamisen malli	44
5.2.	Perustapaus	46
5.3.	Nopean tuotannon mallit	50
5.4.	Erittäin nopean tuotannon mallit	59
5.5.	Äärimmäisen nopean tuotannon mallit	65
5.6.	Tuotannon nopeuttamisen tunnuslukuja	71

5.7.	Tuotannon nopeuttamisen vaikutus kustannuksiin	72
6.	NOPEUTTAMISMALLIN TESTAUS ESIMERKKIKOHTEISSA	77
6.1.	Esimerkkikohteiden tuotannonsuunnittelu	77
6.2.	Leiras-toimisto	77
6.3.	KOy Office point	86
6.4.	Toimistorakennus D, Espoon Asematori	92
7.	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	97

LÄHDELUETTELO

1. JOHDANTO

1.1. Tausta

Paikallavalurakentamisen osuus maamme talonrakennustuotannossa on pysynyt pienenä valmisosarakentamiseen verrattuna. Paikallavalurakentamista ei ole kehitetty Suomessa mainittavasti viimeisten kahdenkymmenen vuoden aikana ja se on menettänyt kilpailukykyään valmisosarakentamiseen nähden. Muualla Länsi-Euroopassa ja Yhdysvalloissa tilanne on päinvastainen ja paikallavalurakentaminen on vallitseva talonrakentamisen tuotantotekniikka.

Perinteinen paikalla valettu betonirunko on hidas kilpaileviin tuotantotekniikoihin verrattuna, minkä takia sen käyttö on jäänyt vähäiseksi. Paikallavalurungolla on kuitenkin useita kilpailuetuja, jotka puoltavat sen käyttöä etenkin toimisto- ja liikeyrakennuksissa sekä pysäköintirakennuksissa. Näitä etuja ovat mm. paikallavalurungon helppo muunneltavuus, yksinkertainen tuotantotekniikka, mahdollisuus valaa lattiat suoraan valmiiseen pintaan, jolloin erillistä ontelolaatoille tyypillistä oikaisu- ja pintavalua ei tarvita, työsaumojen ja liitosten väheneminen, mikä helpottaa rakennuksen jäykistämistä sekä mahdollisuus sijoittaa LVIS-tekniisiä putkijohtoja rakenteiden sisään ja toteuttaa läpiviennit helposti ja täsmällisesti oikeaan paikkaan. Paikallavalutuotannon suurin etu on suunnittelun joustavuus, mikä sallii monimuotoisten teknisten ratkaisujen käytön rakennesuunnittelussa.

Paikallavalurakentamisen työnsuunnittelun kehittäminen, uudet muottitekniikat, nopeat teollisen raudoittamisen menetelmät sekä betonin kovettumisen ja kuivumisen nopeuttaminen luovat mahdollisuuden paikallavalutekniikan kilpailukykyyn ja laadun oleelliseen parantamiseen. Lupaavin kehitettävä rakennejärjestelmä on pilari-laatta -runko, mutta uudet nopeat valmistustekniikat soveltuvat myös muihin runkoratkaisuihin.

1.2. Tutkimuksen tavoitteet, rajaukset ja menetelmä

Tutkimuksen tavoitteena on nopeuttaa paikallavalettavan rungon tuotantoa siten, että kokonaisrakennusaika lyhenee 30 % nykyisestä. Tuotantoa nopeutetaan työnsuunnittelun ja lohkoketekniikan avulla. Rakennuksen laatutason on oltava vähintään nykyisen kaltainen ja kokonaiskustannukset eivät saa nousta nykyisiä korkeammiksi.

Tavoitteen saavuttamiseksi luodaan menettely paikallavalettavan pilari-laatta -rungan tuotannon suunnittelemiseksi ja toteuttamiseksi OPAS ja TURVA -mallin mukaisena tahdistettuna tuotantona. Tutkimuksessa luodaan malli hypoteettisen kohteen rungon tuotannon nopeuttamiseen työnsuunnittelun avulla ja selvitetään rungon nopeuttamisen vaikutukset sisävalmistusvaiheen tuotantoon. Mallia testataan kolmessa esimerkkikohteessa.

Tuotannon nopeuttamismallin lähtökohtana on tyypillisen toimistorakennuksen paikallavalurungan nykyinen tuotantotekniikka. Rungan tuotannon nopeuttamisen tavoitteena on lyhyt läpimenoaika, resurssien tehokas käyttö sekä tuotannon pieni ja hallittu vaihtelu ja riski.

Tutkimusmenetelmä on kirjallisuustutkimus, jonka perusteella laaditaan aikataulusuunnitelmat paikallavalettavan rungon tuotannon nopeuttamiseksi. Tutkimusaineistona käytetään paikallavalutuotannosta ja toimistorakennuksen tuotantomalleista olemassaolevaa kirjallisuutta sekä esimerkkikohteiden suunnitelmia. Tutkimus perustuu Teknillisen korkeakoulun Rakentamistalouden laboratorion osaamiseen ja aikataulusuunnittelua käsitteleviin julkaisuihin.

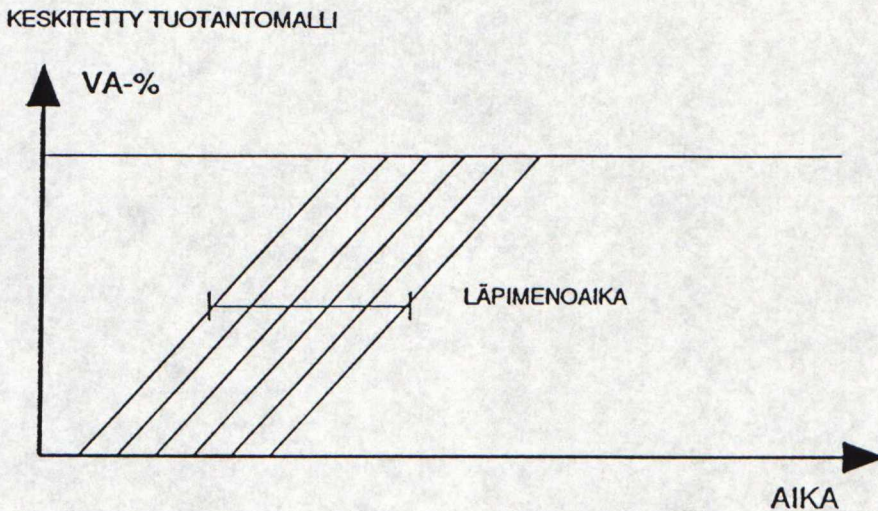
2. RAKENNUSAJAN LYHENTÄMISEN TEORIA

2.1. Rakentamisen tuotantomallit

Rakentamista kuvataan eri tuotantomalleilla. Tuotantomallit ovat tehtävä-, materiaali- tai kapasiteettiorientoituneita. Tuotantotapojen perusteella jaoteltuna tuotantomallit soveltuvat yksittäis-, sarja- ja prosessituotantoon.¹

Tuotantomallit korostavat eri tavoin tuotannon luonnetta. Toiset mallit korostavat tuotannon hajauttamista ja toiset keskittämistä. Keskitetyn ja hajautetun tuotantomallin eron perusta on paikan läpimenoaika. Läpimenoajan ollessa pieni on tuotanto keskitetty. Jos läpimenoaika on suuri, on tuotanto hajautettu.² Rakennustuotanto on yleensä hajautettua.

Keskitys on viety pisimmälle yksisolutuotannossa, jossa yksi resurssiryhmä tekee kaikki tehtävät. Eri tehtävien välillä ei ole katkoksia, joten läpimenoaika on lyhyt.



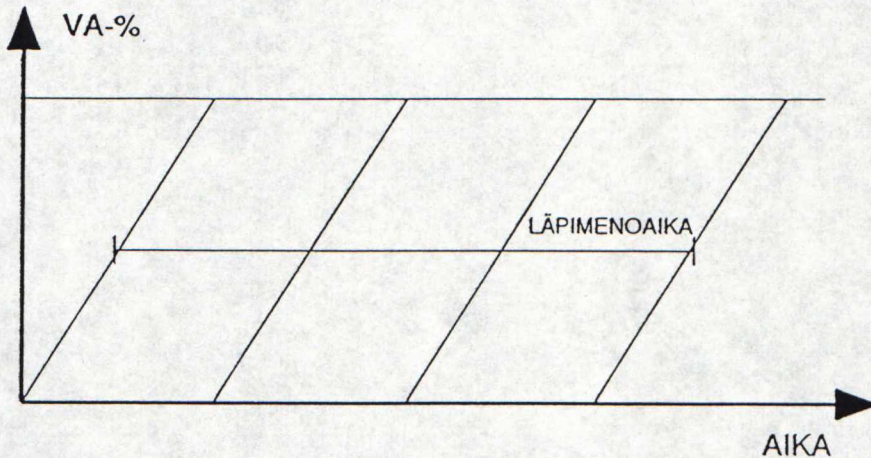
Kuva 1. Keskitetyn tuotantomallin periaatekuva tuotantoaika-kaaviona (Lähde: Nousiainen, 1992, s.15).

¹ Nykänen ym., 1991, s.23

² Toikkanen S., 1992, s.10

Hajautetussa mallissa resurssien ja paikan käyttö on hajallaan ja tehtävien välillä on suuret aika- ja paikkavarastot. Tilojen käyttöaste on alhainen ja paikan läpimenoaika pitkä.

HAJAUTETTU TUOTANTOMALLI



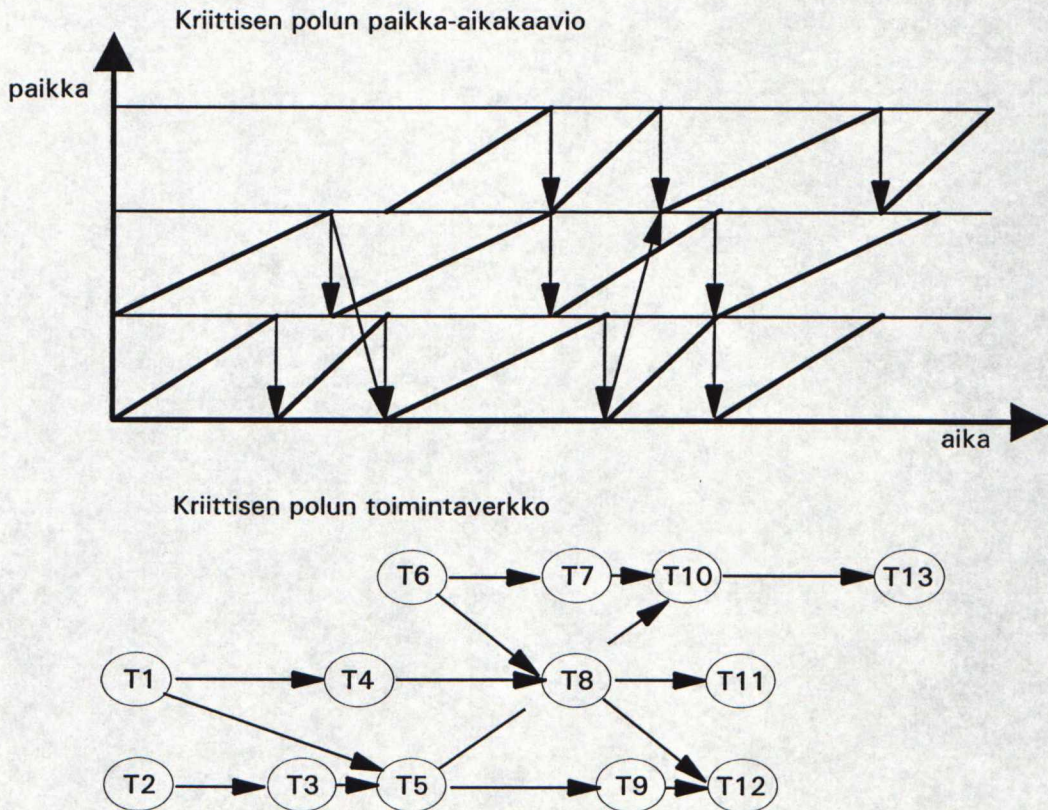
Kuva 2. Hajautetun tuotantomallin periaatekuva tuotantoaika-kaaviona (Lähde: Nousiainen, 1992, s.15).

2.1.1. Kriittinen polku¹

Kriittisen polun tuotantomallissa toimintaverkon laskennan perusteella määritetään tehtävien ajoitus ja työjärjestys. Tehtävien kestoista ja niiden välisistä riippuvuuksista syntyy toimintaverkko. Riippuvuudet ovat yleensä teknisiä ja suoritusjärjestysriippuvuuksia.

Kriittisen polun tuotantomalli korostaa riippuvuuksiin perustuvaa suunnittelua ja tuotannon uudelleen suunnittelua. Mallissa ei korosteta tuotannon valvontaa ja ohjausta. Tehtävien kestot lasketaan mallissa tehtäväkohtaisin kestolaskelmin tai -arvioin. Tämän vuoksi tehtävien kestot eivät ole yhtä pitkiä, vaan peräkkäisten tehtävien kestot saattavat vaihdella runsaasti. Tuotanto ei ole tahdistettua.

¹ Pelin, 1978



Kuva 3. Kriittisen polun tuotantomallin periaatekuva.

2.1.2. OPAS-teoria¹²³

OPAS-teoria (Ohjausta Palveleva Aikataulu-Suunnittelu) on erityiskohteita varten laadittu tuotantomalli, joka perustuu kohteen ositteluun sekä keskeisten tehtävien tahdistamiseen ja rytmitykseen. Näillä keinoilla varmistetaan resurssien ja paikan käytön jatkuvuus ja tasaisuus.

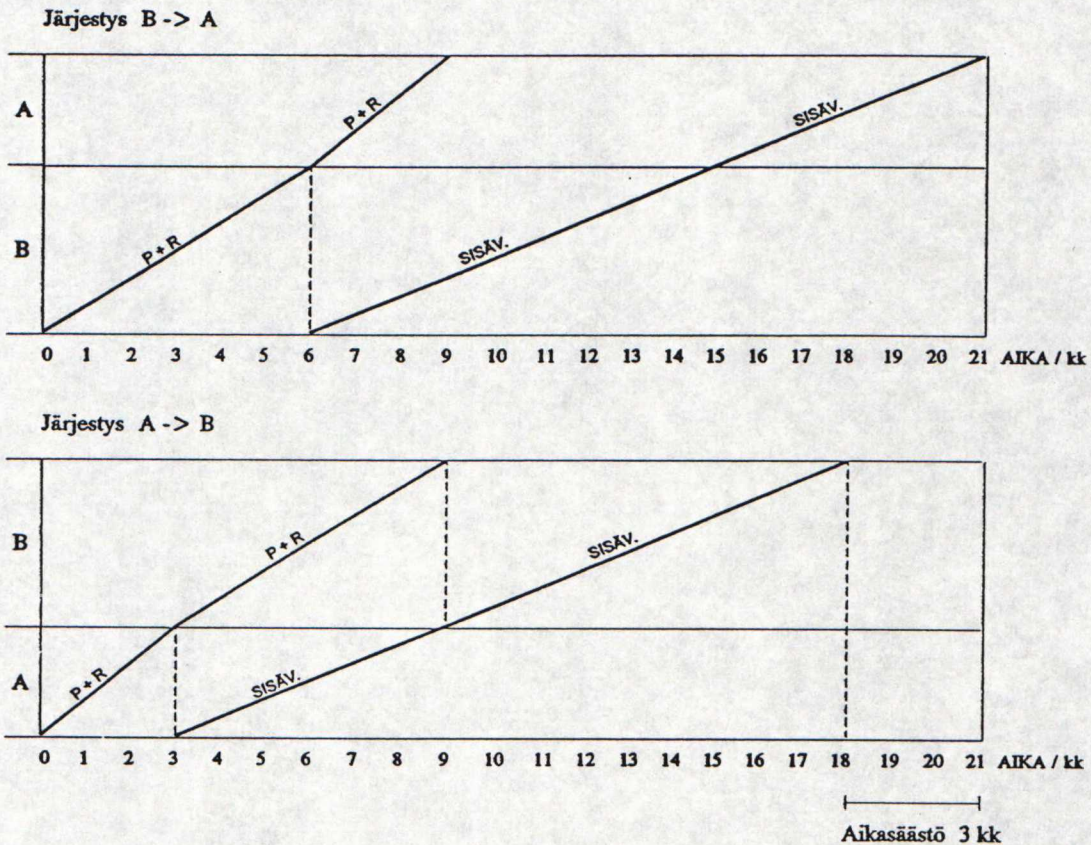
OPAS- mallissa kohde jaetaan tuotannon kannalta fyysisiin osiin, lohkoihin ja osakohteisiin. Lohkot toteutetaan kuten itsenäinen rakennushanke. Lohkojen rungot tehdään kerralla

¹ Kiiras, 1989

² Soini, 1988

³ Kiiras & Kankainen, 1990

valmiiksi, jolloin sisävalmistusvaihe päästään aloittamaan mahdollisimman aikaisin ensimmäisessä lohossa. Lohkojen suoritusjärjestys valitaan siten, että työt aloitetaan osalohkosta, jonka perustus- ja runkovaihe on kestoltaan lyhin ja lopetetaan osalohkoon, jossa sisävalmistusvaihe on lyhin.¹ Eri lohkojen työt rytmitetään jatkuviksi.



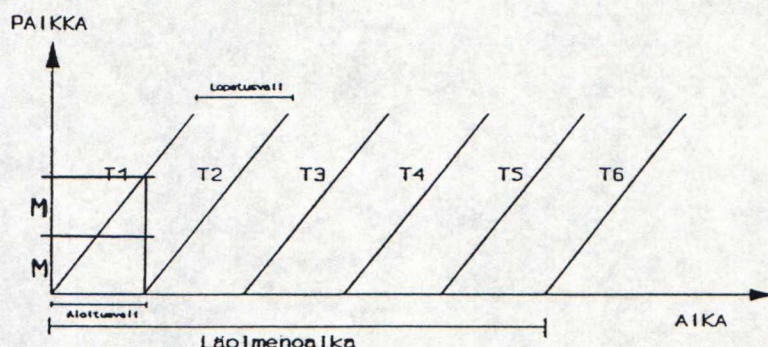
Kuva 4. Lohkojen suoritusjärjestyksen valinta.

OPAS-mallissa tahdistettavat tehtävät valitaan aikataulun kannalta keskeisistä omista ja alihankintatöistä.² Tehtävien väliset keskinäiset riippuvuudet selvitetään yhdessä osakoh-teessa, jonka perusteella saadaan edeltävien tehtävien luet-telo ja tehtävien työjärjestys. Tehtävien kestot määritetään tahdistuslaskelman perusteella. Tahdistavasta kestosta saa-daan määritettyä tehtävien työryhmien suuruudet tai lukumää-rät.

¹ Kiiras, 1989, s.12

² Kiiras, 1989, s.9

Tuotannon ohjattavuus varmistetaan tahdistuksen lisäksi tehtävien välisillä riittäväillä pelivaroilla. Pelivaroilla varaudutaan mahdollisiin häiriöihin tuotannossa ja niiden avulla turvataan tehtävien aloitukset ja lopetukset. Pelivaraa käytetään kahta työkohdetta.



Kuva 5. OPAS-teorian mukainen tahdistettu tuotanto (Lähde: Kiiras, 1989, s.12).

OPAS-teoriaan kuuluu keskeisesti tuotannon valvonta ja ohjaus eli TURVA (Tuotannon ja Resurssien Valvonta). Valvonta kohdistuu tuotannon ajalliseen edistymiseen, tuotantonopeuteen, resurssien käyttöön, työkohteiden vapautumiseen ja tuottavuuteen.¹ Työnaikainen ohjaus käsittää poikkeamien havaitsemisen, syiden selvittämisen, seurausten tarkastelun ja toimenpiteisiin ryhtymisen.²

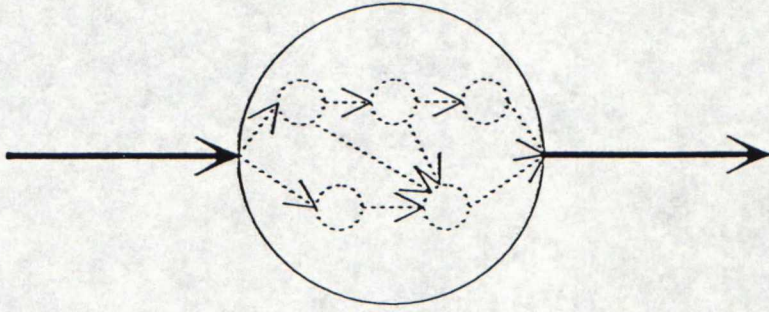
2.1.3. Solutuotanto³

Solu on organisatorisesti oma tuotantoyksikkö, johon kuuluu useita monitaitoisia resursseja. Solujen välillä ei ole resurssiriippuvuuksia. Solun sisällä tehtävät ketjutetaan. Tuotannon ohjauksessa solua käsitellään yhtenä tehtävänä.

¹ Niiranen, 1991, s.66

² Kiiras, 1989, s.21

³ Niiranen, 1991, s.87-89

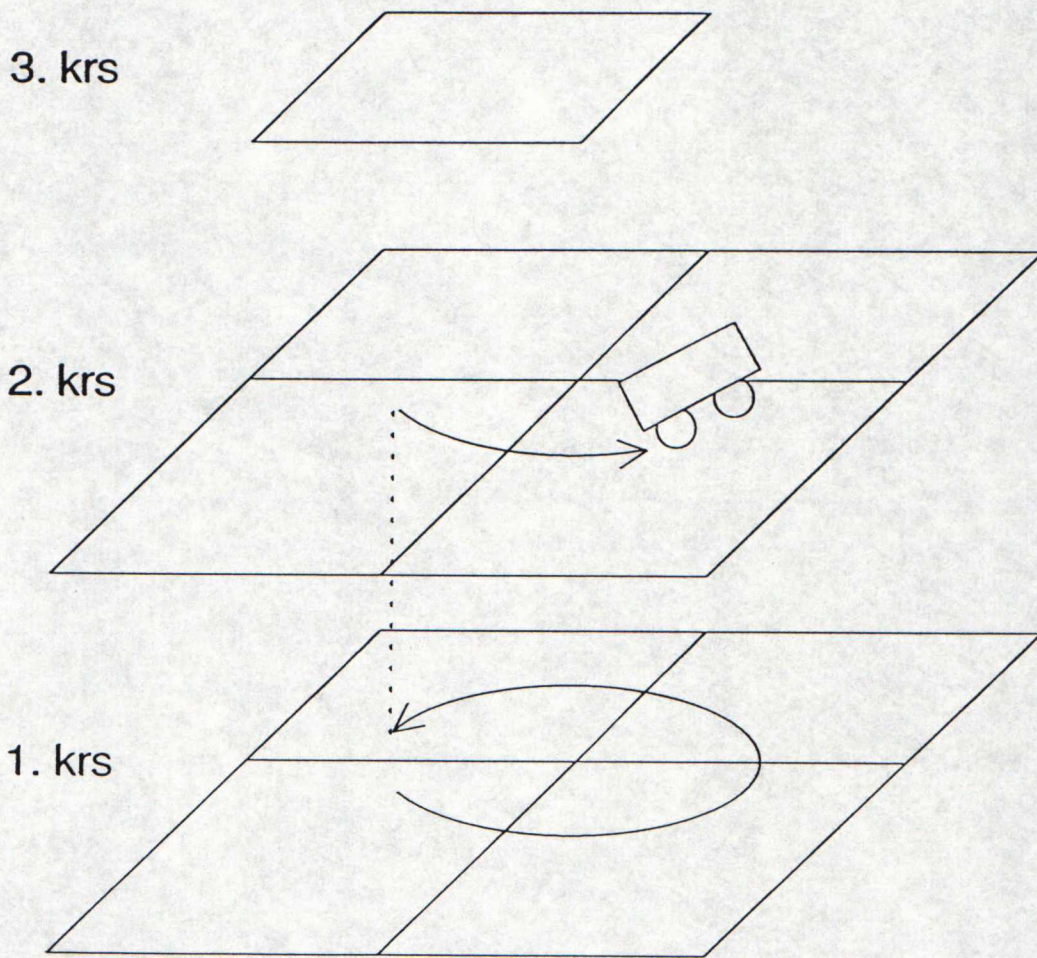


Kuva 6. Solun sisäisen ketjutuksen periaate (Lähde: Björklund, 1977, s.22).

Solutuotannon tavoitteena on lyhyt tuotteen läpimenoaika, häiriötön tuotannonohjaus sekä korkea tuottavuus ja laatu. Solutuotantoa käytetään yleisesti kokoonpanoteollisuudessa, jossa tuotteiden valmistuserät ovat pieniä ja toistuvuus suuri. Solutuotannossa työryhmän koko on pienempi kuin käytettävien koneiden määrä.

Toteutuksen laadusta saadaan solutuotannossa välitön palaute, koska solu vastaa itse tuotantonsa laadusta. Virheet eivät odota tarkastusta, eikä niitä kopioida. Keskenäistä tuotantoa on vähän ja tuotteen jonotusajat tehtävältä toiselle ovat hyvin lyhyet tai niitä ei ole lainkaan. Tuotanto on tahdistettu solun sisällä. Solutuotannossa korostuu tehtävien jatkuvuus ja tasainen tuotantonopeus. Aika- ja paikkavarastot solun sisällä ovat pienet, tai niitä ei ole lainkaan. Tämän takia solun sisäinen toiminta on häiriöaltis. Häiriö yhdessä solun tehtävässä vaikuttaa välittömästi koko solun tuotantoon.

Rakennustuotanto eroaa luonteeltaan kokoonpanoteollisuudesta, jossa sekä tuotantovälineet että paikka ovat valmiina ja tuote liikkuu tehtävältä toiselle. Rakentamisessa järjestely on käänteinen, paikkaa rakennetaan ja tuotantovälineet kiertävät paikasta toiseen. Tuotos kiinnittyy paikkaan, jota rakennetaan. Rakentamisessa ongelmana on paikan käytön hallinta, koska paikka muuttuu jatkuvasti rakentamisen aikana.



Kuva 7. Rakentamisen paikkasidonnaisuus (Lähde: Niiranen, 1991, s.88).

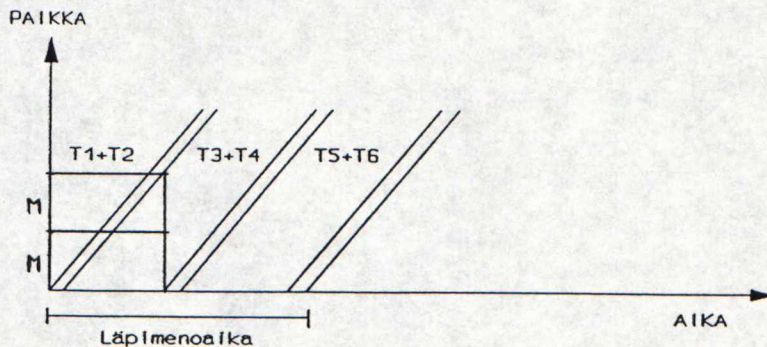
Solutuotanto voidaan jakaa yksisolutuotantoon ja jaettuun solutuotantoon. Rakentamisessa yksisolutuotanto tarkoittaa resurssiryhmää, joka tietyssä paikassa tekee kaikki tehtävät.

Jaetun solutuotannon tuotantomalli on rutiinikohteisiin kehitetty OPAS-mallin sovellus.¹ Mallissa yksi solu vastaa useista tehtävistä. Jaetun solutuotannon tavoitteena on lyhentää läpimenoaikaa sekä rakennusaikaa pienentämällä tehtävien aloitusvälejä. Mallin tavoitteena on myös parantaa hallitusti solun sisäistä häiriöherkkyyttä. Eri solujen välinen häiriöherkkyyys pidetään pienenä.

¹ Kiiras, 1988

Jaetun solutuotannon tuotantomallissa korostetaan työjärjestyksen valintaa sekä tehtävien tahdistusta ja rytmitystä. Mallin mukaisessa tuotannossa päästään suureen tuotantonopeuteen. Tuotanto on tahdistettu solun sisällä ja eri solujen välillä. Tuotannon tahdistaminen tapahtuu tehtävien työsisäلتöä muuttamalla.¹

Jaetussakin solutuotannossa paikan käyttö yhdessä solussa on tehokasta. Aika- ja paikkavarastot solun sisällä ovat pienet tai niitä ei ole lainkaan. Tehtävät mitoitetetaan yhtä pitkiksi, jotta ne ovat keskenään tahdistettuja. Eri solujen väliset aika- ja paikkavarastot ovat suuret.



Kuva 8. Jaetun solutuotantomallin periaatekuva (Lähde: Toikkanen S., 1992, s.13).

2.2. Perinteinen kriittisen polun Crash up -teoria²

Aikataulusta kannattaa aina analysoida, onko projektin keston lyhentäminen mahdollista ja miten kannattavaa se on. Nopeuttaminen saattaa olla välttämätöntä, jos projektisuunnitelma ylittää asetetun valmistumisaikatavoitteen. Vaikka projekti valmistuisikin ajoissa, saattaa jouduttaminen tuoda huomattavia kustannussäästöjä.

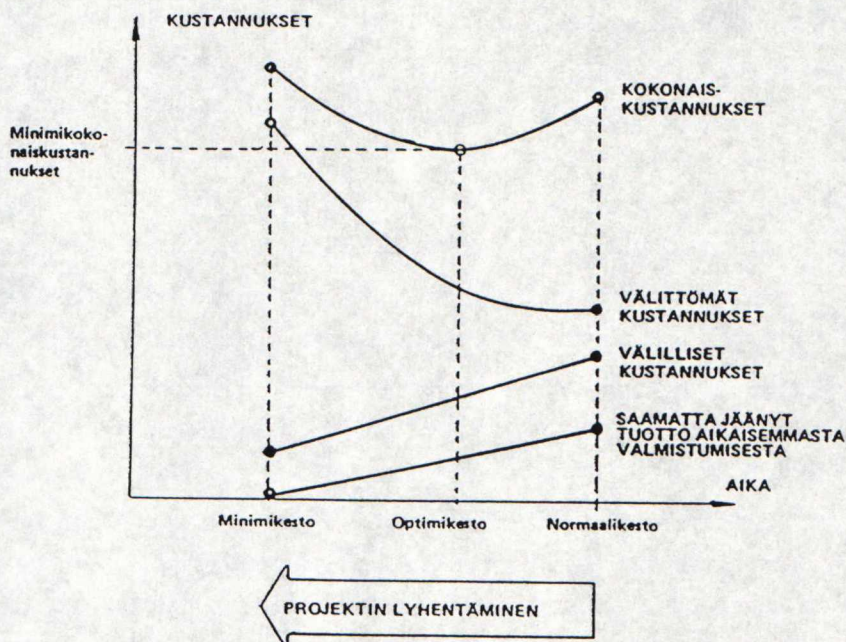
¹ Hannukkala & Kankainen, 1991, s.27

² Pelin, 1991, s.127-132

Aikataulut laaditaan käyttäen tehtävien normaalikestoja, jotka ovat työn suorittamisen kannalta taloudellisimpia. Työ on usein mahdollista tehdä lyhyemmässä ajassa. Projektin keston lyhentäminen lisää tehtävien kustannuksia eli projektin välittömiä kustannuksia. Toisaalta keston lyhentämisellä saadaan säästöä välillisissä kustannuksissa, joita ovat:

- aikasidonnaiset kustannukset
- sidotun pääoman tuotto
- investoinnin aikaisempi tuotto

Keston lyhentämisen takia tilaajalta aikaisemmin saatava maksu, säästetyt myöhästymissakot sekä maine hyvänä toimittajana aiheuttavat, että välittömien kustannusten lisääminen saattaa olla hyvinkin kannattavaa, jos projektin kokonaiskesto samalla lyhenee. Toimintaverkosta ilmenee projektin kriittinen polku. Koko projekti nopeutuu yhtä kriittisen polun tehtävää nopeutettaessa. Ajan ja kustannusten optimoinnin ideana on lyhentää kriittisen polun tehtäviä siten, että projektin kesto lyhenee ja kokonaiskustannukset alenevat.



Kuva 9. Projektin keston ja kustannusten optimointi (Lähde: Pelin, 1991, s.128).

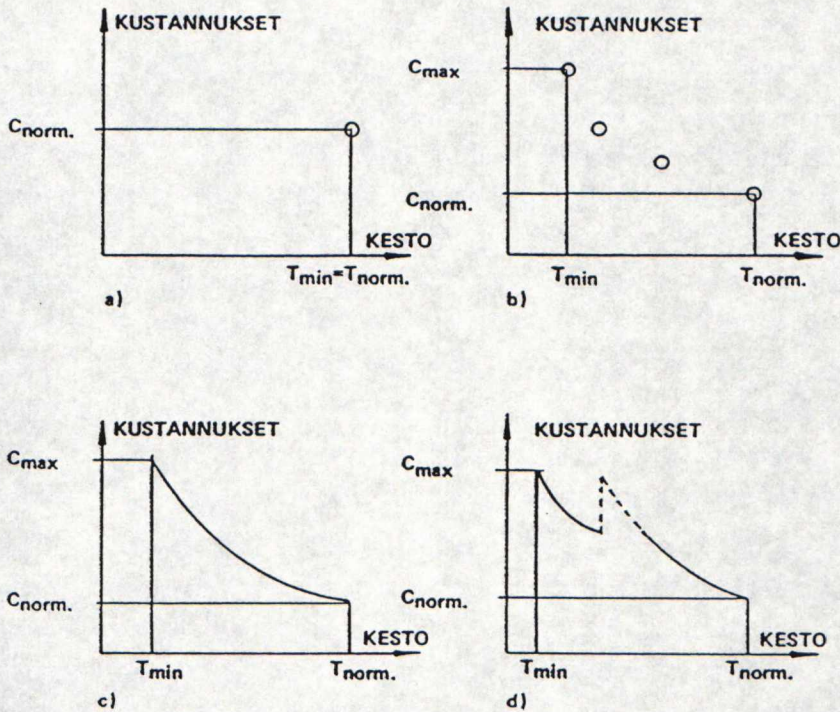
Kuvassa 9 ovat kokonaiskustannukset alentuneet projektia lyhennettäessä tiettyyn projektin kestoon saakka (optimikesto). Tämän jälkeen kokonaiskustannukset nousevat kunnes on saavutettu piste, jota lyhyemmäksi projektia ei ole mahdollista lyhentää (minimikesto).

Rakennusajan optimointi käsittää seuraavat vaiheet:

- Selvitetään tehtävien lyhentämismahdollisuudet ja lyhentämisen vaikutus tehtävien kustannuksiin (aika-kustannus -riippuvuus).
- Selvitetään yhden aikayksikön lyhentämisen tuomat säästöt (välilliset kustannukset).
- Haetaan kriittisen polun tehtävistä se, jonka lyhentäminen on edullisinta (pienin kustannusjyrkkyys).
- Lyhennetään kriittisen polun tehtäviä yksi kerrallaan, kunnes yhden aikayksikön lyhentämisestä aiheutuva lisäkustannus on suurempi kuin välillisissä kustannuksissa saatu säästö. Näin on haettu kustannuksellinen optimi.
- Tarvittaessa selvitetään projektin minimikesto. Kokonaiskustannukset nousevat tällöin yleensä jyrkästi.

Tehtävien kestoja voidaan lyhentää tuotantonopeuden tai -tekniikan muutoksilla sekä teknisillä muutoksilla rakennussuunnittelussa. Näistä aiheutuu erilaisia lisäkustannuksia. Tehtävän suoritusajan ja kustannusten välillä on kuvan 10 mukaisia riippuvuuksia.

Kaikkia tehtäviä ei voida lyhentää (a). Osalla tehtävistä on useita mahdollisia suoritusajoja. Työn voi tehdä yksi, kaksi, kolme tai neljä työryhmää (b). Tehtävän kesto-kustannusfunktio voi olla myös jatkuva lineaarinen tai epälineaarinen käyrä (c). Kuvassa (d) on lyhentäminen toteutettu aluksi ylitöillä. Tiettyssä vaiheessa on tullut edullisemmaksi siirtä kaksivuorotyöhön, josta aiheutuu kuvaajan epäjatkuvuuskohta.



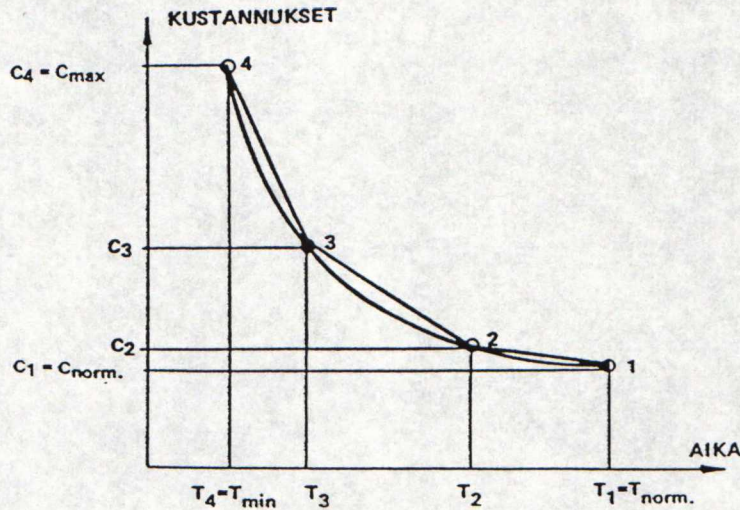
Kuva 10. Tehtävän aika-kustannusfunktioita (Lähde: Pelin, 1984, s.96).

Jos jokin komponentti on mahdollista ostaa alihankkijalta tai valmistaa itse, voi syntyä tilanne, jossa on yksi piste (alihankkija) sekä jatkuva funktio (oma valmistus).

Useimmissa tapauksissa on jatkuvan funktion asemasta kätevää kuvata vain tärkeimmät pisteet. Tarkastelupisteet voidaan valita siten, että aikaväli on sama, esimerkiksi päivä tai viikko.

Kuvassa 11 on jatkuva epälineaarinen funktio korvattu neljällä aika-kustannuspisteellä. Pisteet on yhdistetty toisiinsa suorilla. Kahden pisteen välisen suoran kulmakerroin, ns. kustannusjyrkkyys, kuvaa lyhentämisen taloudellisuutta. Suuri kulmakerroin merkitsee, että lyhentäminen on kallista. Kuvassa 11 välin 3-4 kustannusjyrkkyys lasketaan kaavalla (1):

$$\frac{\Delta C_{34}}{\Delta T_{34}} = \frac{C_4 - C_3}{T_4 - T_3} \quad (1)$$



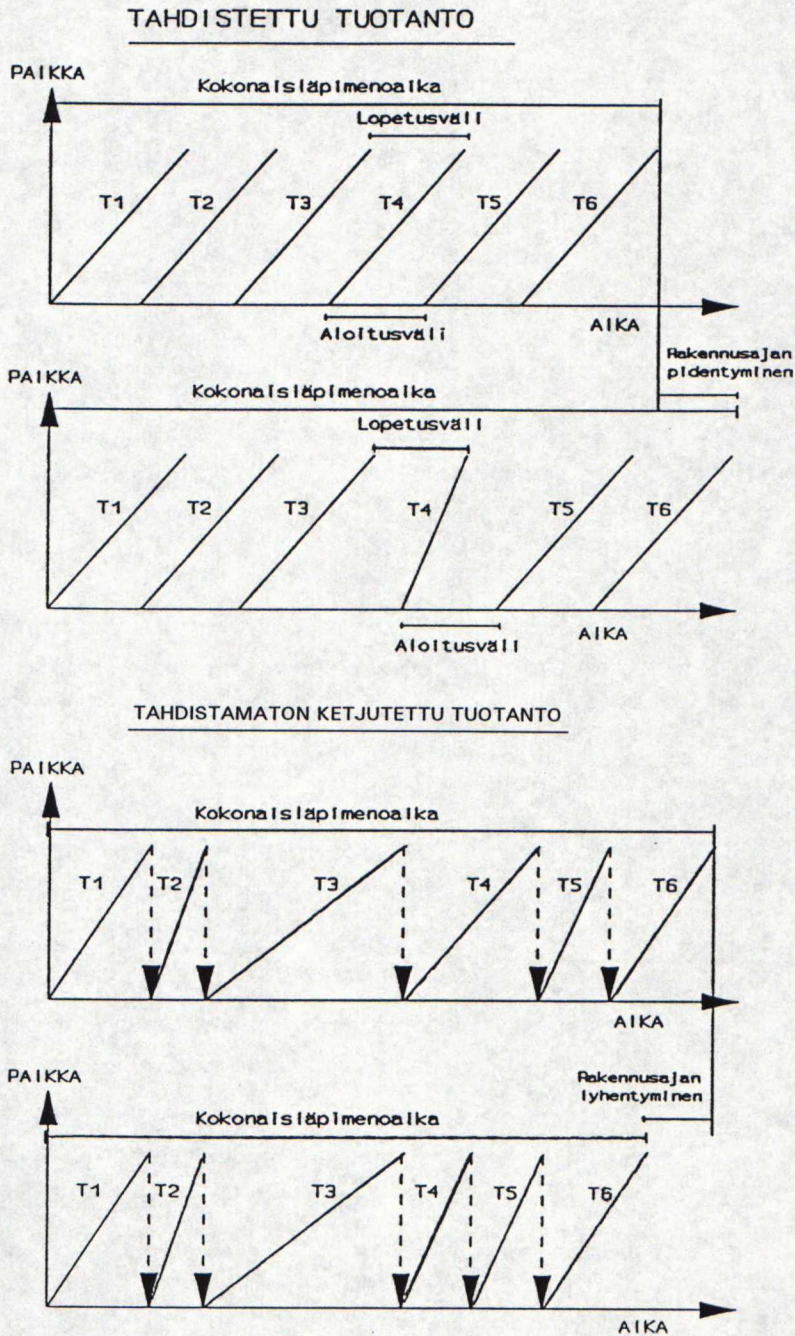
Kuva 11. Kustannusjyrkkyyden laskeminen (Lähde: Pelin, 1984, s.98).

Kustannusjyrkkyydeltään alhaisen tehtävän keston lyhentäminen vaikuttaa eri tavalla tahdistetussa ja tahdistamattomassa tuotannossa.

Tahdistetussa tuotannossa yksittäisen tehtävän keston lyhentäminen pidentää kokonaiskestoja. Tämä johtuu siitä, että kun tehtävän kesto lyhennetään, se voidaan aloittaa myöhemmin ettei se törmää edelliseen tehtävään.¹ Tämä taas vaikuttaa suoraan seuraavan tehtävän aloitukseen.

Tahdistamattomassa tuotannossa yksittäisen tehtävän keston lyhentäminen lyhentää myös kokonaiskestoja, koska seuraavan tehtävän aloitus on kiinni edellisen tehtävän lopetuksesta.

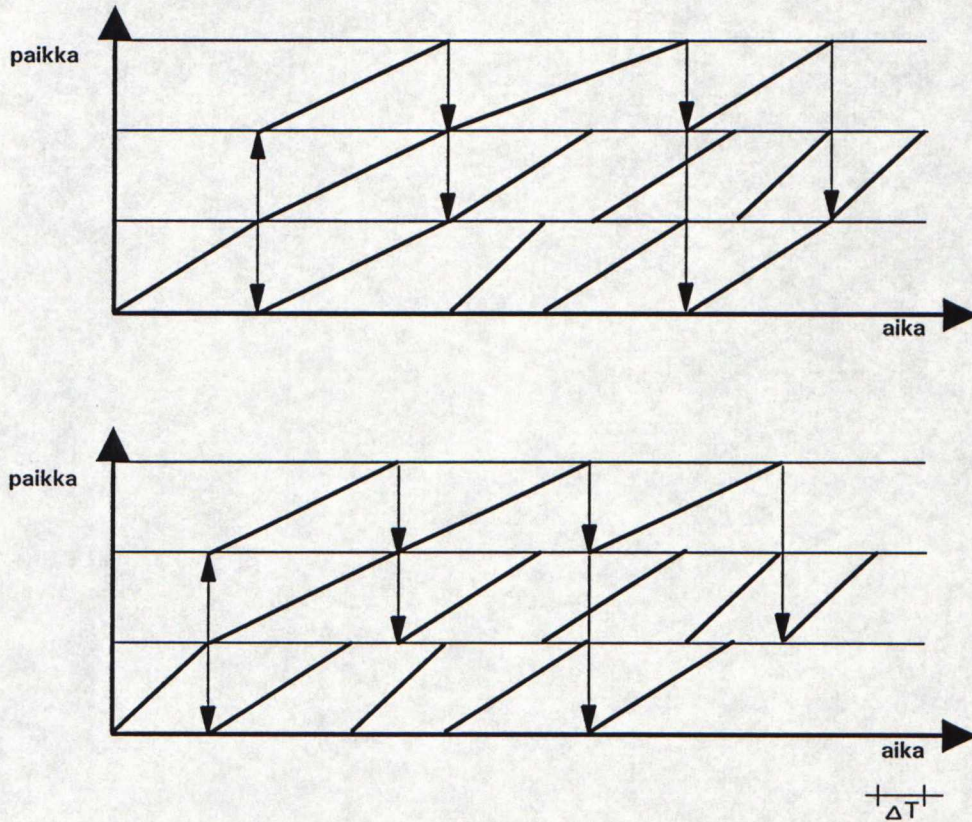
¹ Toikkanen S., 1992, s.23



Kuva 12. Kustannusjyrkkyydeltään alhaisen tehtävän (T4) keston lyhentäminen puoleen tahdistetussa ja tahdistamattomassa tuotannossa (Lähde: Toikkanen S., 1992, s.24).

Jokainen ajoituksen muutos vaikuttaa useisiin tehtäviin ja aikataulu on päivitettävä kunkin lyhentämisen jälkeen. Jos

projekti sisältää useita kriittisiä polkuja, ei yhden tehtävän nopeuttaminen enää riitä. Jokaista kriittistä ketjua on lyhennettävä vastaava aika.



Kuva 13. Kriittisen polun tehtävien nopeuttaminen.

3. RAKENNUSAJAN LYHENTÄMINEN TAHDISTETUSSA TUOTANNOSSA

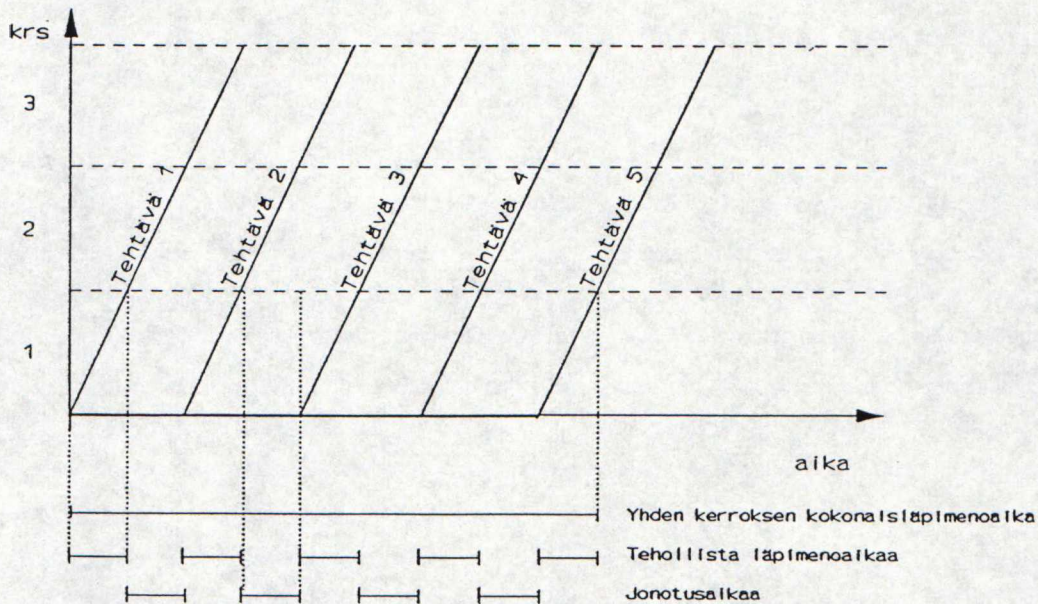
3.1. Paikan rakennusaika

Paikan rakennusaika eli kokonaisläpimenoaika tarkoittaa kohteen yhden osan, kuten kerroksen tai työkohteen rakennusaikaa. Paikan läpimenoaikaa vastaa muussa teollisuudessa kappaleen (tuotteen) läpimenoaika. Valmistuksen osuus kappaleen kokonaisläpimenoajasta on pieni.

Kokonaisläpimenoaika jakaantuu jonotusaikaan ja teholliseen läpimenoaikaan. Kokonaisläpimenoaika tarkoittaa työkohteen

ensimmäisen ja viimeisen tehtävän välistä aikaeroa. Tehollinen läpimenoaika on yksittäisten tehtävien kestojen summa tarkasteltavassa työkohteessa. Tehollinen läpimenoaika riippuu tuotesuunnitelmasta ja käytettävissä olevien resurssien määrästä.¹ Jonotusaika taas on riippuvainen työnsuunnittelutavasta.

Jonotusaika tarkoittaa aikaa, jonka työkohde on tyhjillään odottamassa seuraavaa tehtävää. Läpimenoajasta suurin osa on jonotusaikaa eli eri tehtävien välistä odotusaikaa. Nopeaan rakennusaikaan päästään, kun jonotusaikaa vähennetään. Tahdistetussa prosessinomaisessa sarjatuotannossa tehollinen rakennusaika koostuu lyhyistä yksittäisistä tehtävistä.



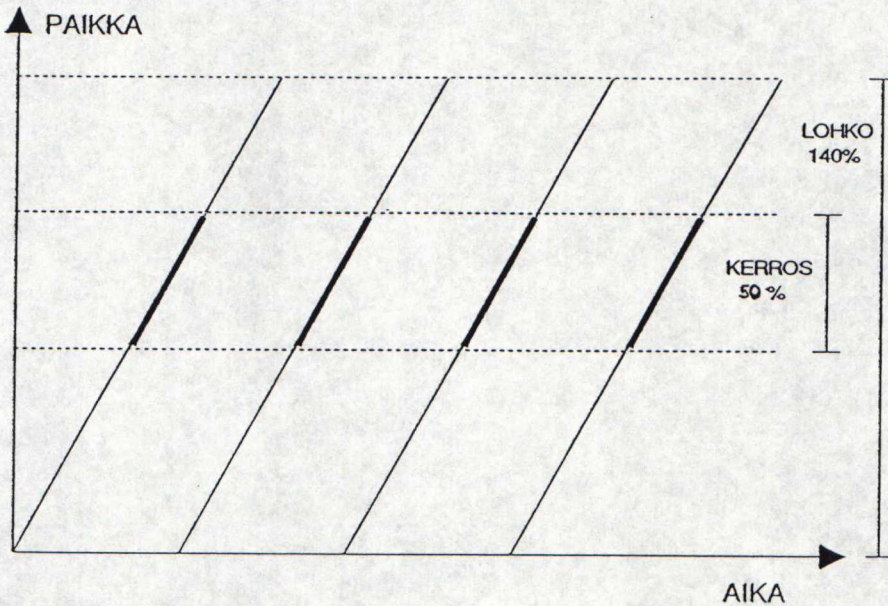
Kuva 14. Yhden kerroksen kokonaisläpimenoaika, tehollinen läpimenoaika ja jonotusaika (Lähde: Niiranen, 1991, s.115).

Paikan käyttöaste riippuu tarkasteltavan työkohteen suuruudesta. Samassa kohteessa paikan käyttöaste pienenee samalla, kun tarkasteltavan työkohteen koko pienenee. Yhden työkohteen käyttöaste on pieni, mutta kerroksen tai osakohteen käyttöas-

¹ Nousiainen, 1992, s.22

te on korkea. Hanke- ja lohkotasolla paikan käyttöaste on kaikissa kohteissa yli 100 %, koska useita tehtäviä on samaan aikaan käynnissä.¹

Paikan käyttöaste vaihtelee eri tuotantomalleissa. Keskitetyillä tuotantomalleilla, solutuotantomalleilla, korostuu lyhyt kokonaisläpimenoaika, jossa paikkojen jonotusajat ovat lyhyitä. Solutuotantomalleilla paikan käyttöaste on korkeampi kuin OPAS-mallissa, jossa työkohteen käyttöasteeksi suunnitellaan tietoisesti 50 %:ksi, koska tahdistaville tehtäville varataan yksi varatyökohde.



Kuva 15. Paikan käyttöasteen riippuvuus tarkasteltavan tilan suuruudesta.

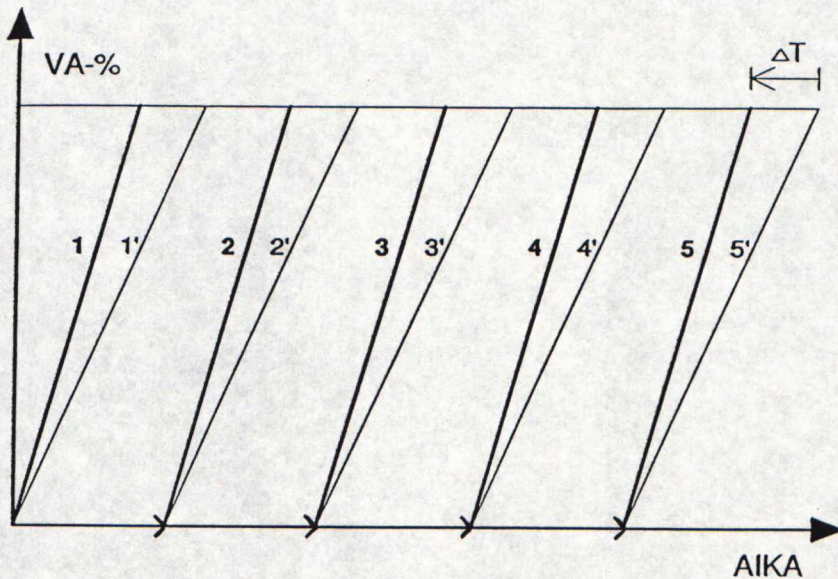
Paikan käytön tehostaminen on keino rakennusajan lyhentämiseen. Tehokkuuteen vaikuttavat paikan käyttöaste ja resurssien määrä paikassa. Käyttöasteen kohottaminen tarkoittaa jonotusajan pienentämistä eli läpimenoajan lyhentämistä. Resurssien määrän kasvattaminen tarkoittaa tuotantonopeuden kasvattamista eli tehtävän lyhentämistä.

¹ Nousiainen, 1992, s.25

3.2. Tehtävien nopeuttaminen

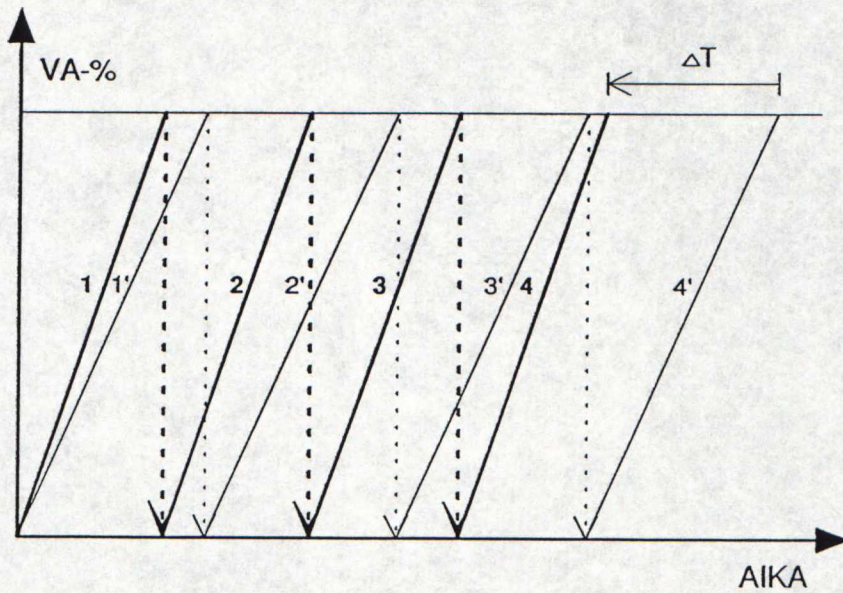
Tehtävien nopeuttamisen keinoja ovat työmenekin pienentäminen ja resurssien lisääminen. Työmenekin pienentäminen edellyttää uusien tehokkaampien työmenetelmien käyttöönottoa tai esivalmistusasteen kohottamista.

Tahdistetussa tuotannossa tehtävien nopeuttamisella ei ole suurta merkitystä kokonaisrakennusaikaan, jos tehtävien välillä on alku-alku ja loppu-loppu -riippuvuudet. Tällöin seuraavan tehtävän aloitusajankohta ei muutu, vaikka edellinen tehtävä nopeutuu. Kokonaisaika lyhenee yhtä paljon kuin viimeinen tehtävä lyhenee.



Kuva 16. Tehtävien nopeuttaminen, kun tehtävien välillä on alku-alku -riippuvuus.

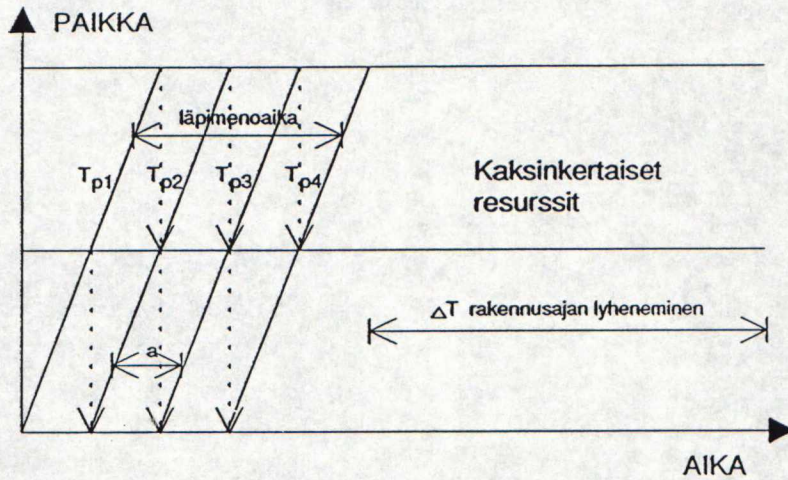
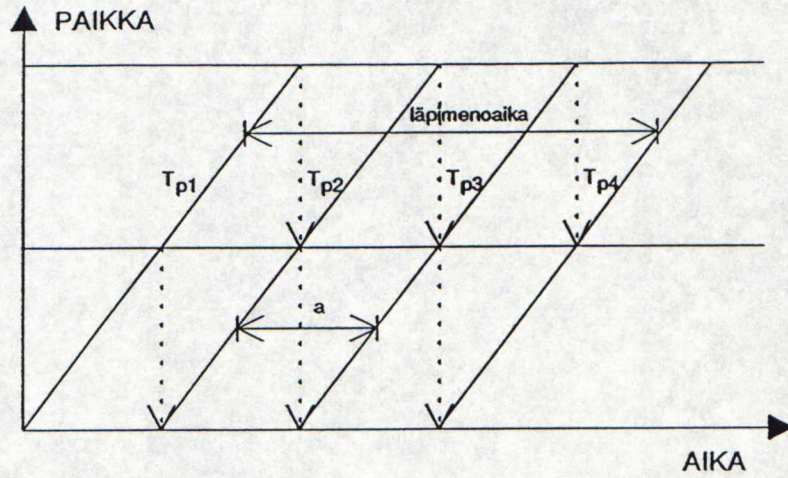
Tehtävien nopeuttamisella on suuri merkitys, jos tehtävien välillä on loppu-alku -riippuvuus. Seuraavan tehtävän aloitus aikaistuu edellisen tehtävän nopeutuessa, joten tehtävien aloitusväli pienenee. Kokonaisaika lyhenee yhtä paljon kuin tehtävät lyhenevät yhteensä.



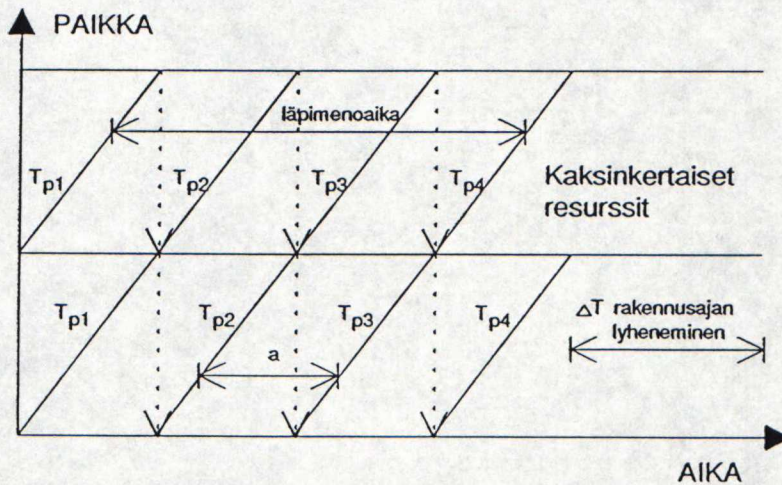
Kuva 17. Tehtävien nopeuttaminen, kun tehtävien välillä on loppu-alku -riippuvuus.

Yksinkertaisin tapa nopeuttaa tuotantoa on lisätä resursseja. Resurssien määrän lisääminen kasvattaa tuotantonopeutta eli lyhentää yksittäisten tehtävien kestoja. Resurssien lisäämisellä voidaan tehtäviä nopeuttaa vain tiettyyn rajaun saakka. Työryhmän tehokkuus saattaa pienentyä resurssien kasvaessa.

Lisäresurssit voivat olla lohkoille yhteisiä (Kuva 18), tai lohkoilla voi olla erilliset resurssit (Kuva 19). Mikäli lohkoilla on eri resurssit, ei niiden käyttö ole tasaista ellei lohkoja tahdisteta toisiinsa.

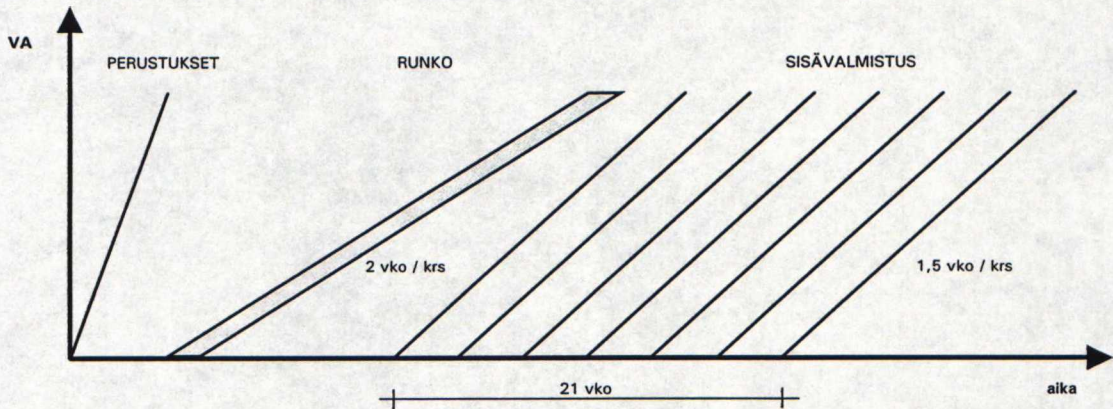


Kuva 18. Tuotantonopeuden lisääminen, kun lohkoilla on yhteiset resurssit.



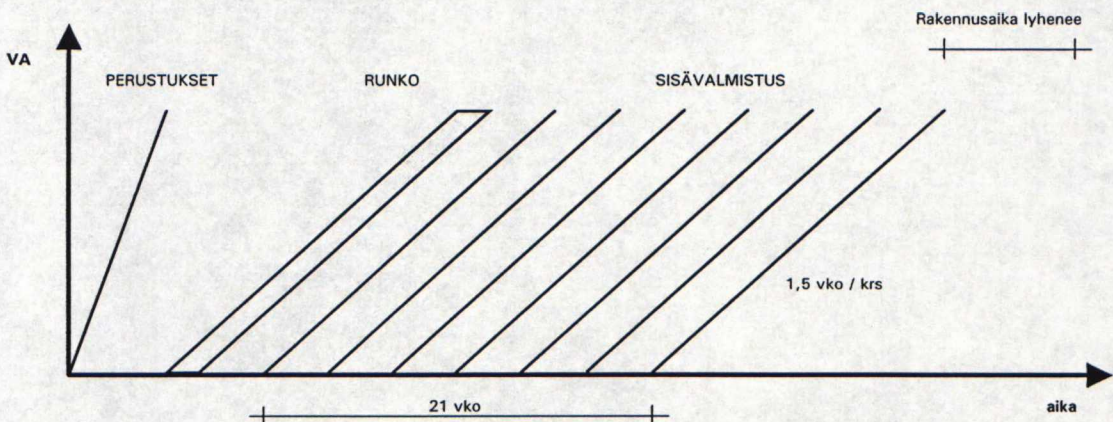
Kuva 19. Tuotantonopeuden lisääminen, kun lohkoilla on eri resurssit.

Perinteisen paikallavaletun pilari-laatta -rungan tuotantonopeus toimistorakennuksessa ($2\text{vko}/1000\text{krs-m}^2$) on selvästi alhaisempi kuin sisävalmistusvaiheen tuotantonopeus ($1,5\text{vko}/1000\text{krs-m}^2$). Runkovaihe ei siis tahdistu sisävalmistusvaiheen kanssa. Sisävalmistuksen aloitus viivästyy ja työkohteet eivät ole jatkuvasti tehokkaassa käytössä. Rungan läpimenoaika on lyhyt runkovaiheen kokonaiskestoan verrattuna. Kokonaisrakennusaika muodostuu pitkäksi.



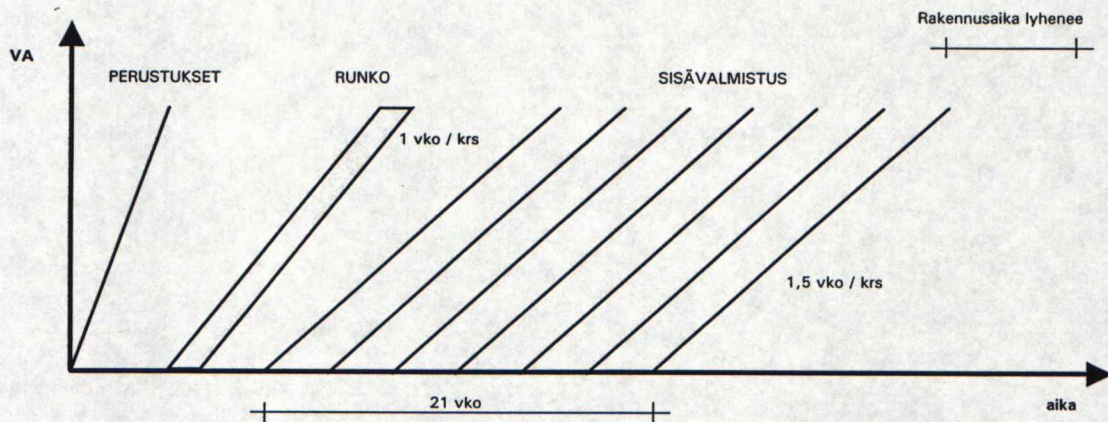
Kuva 20. Perinteisen paikallavaletun toimistorakennuksen paikka-aikakaavio.

Kokonaisrakennusaikaa voidaan lyhentää nopeuttamalla rungon tuotantoa siten, että rungolla on sama tuotantonopeus kuin sisävalmistusvaiheella. Runko tahdistuu tällöin sisävalmistuksen kanssa ja sisävalmistusvaihe voidaan aloittaa mahdollisimman aikaisin. Kokonaisrakennusaika lyhenee rungon nopeutumisen verran ja työkohteet ovat jatkuvasti tehokkaassa käytössä.



Kuva 21. Runkovaihe tahdistettu sisävalmistusvaiheen kanssa.

Rungon tuotantonopeuden kasvattaminen sisävalmistuksen tuotantonopeutta suuremmaksi ei lyhennä kokonaisrakennusaikaa tahdistettuun tuotantoon verrattuna, koska sisävalmistuksen aloitusta ei voida aikaistaa. Työkohteet eivät ole koko ajan tehokkaassa käytössä, minkä takia ei saavuteta hyötyä rungon suuresta tuotantonopeudesta. Nopeasta runkovaiheesta hyödyttään vain, jos sisävalmistusvaiheen kaikkia tehtäviä nopeutetaan saman verran kuin runkoa.



Kuva 22. Runkovaiheella suurempi tuotantonopeus kuin sisävalmistusvaiheella.

Koska työkohteessa ei samaan aikaan voi olla useita resursseja, on paikan käyttöaste keskeisin rakennusajan lyhenemiseen vaikuttava tekijä. Paikan käyttöasteeseen vaikuttavat:¹

- tehtävien aloitusvälien lyhentäminen
- tehtävien lukumäärän vähentäminen

3.3. Aloitusvälin lyhentäminen

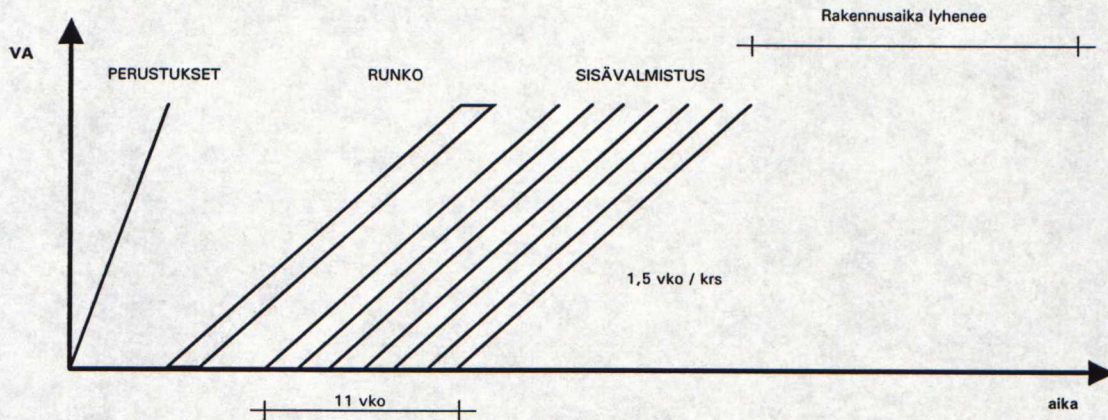
Aloitusvälin lyhentäminen tarkoittaa työkohteen pienentämistä. Tehtävien työt tehdään tällöin kerralla valmiiksi pienemmissä työkohteissa. Tehtävän kesto työkohteessa pienenee ja seuraava tehtävä voi aloittaa työt aikaisemmin. Tehtävien välit ovat pitkiä ja työsisältö pieni. Tämä vastaa hajau-

¹ Niiranen, 1991, s.118

tettua tuotantomallia, jossa resurssien ja paikan käyttö on hajallaan. Tehtävien välillä on suuret aika- ja paikkavarastot. Tilojen käyttöaste paikan läpimenoaikana on alhainen.

Aloitussvälin lyhentämisen vaikutus rakennusaikaan ei riipu tehtävien välisistä riippuvuustyypeistä kuten tehtävien nopeuttaminen. Tehtävien aloitusvälit ovat tahdistetussa rakennustuotannossa pitkät. Niiden tarkoitus on estää häiriöiden syntyminen. Aloitusväli on tehtävien kestojen ja aloitusten vaihtelujen pelivara-alue. Jotta aloitusväliä voidaan lyhentää, on tehtävien ohjattavuutta parannettava. Tehtävien keston vaihtelun on oltava pientä.

Kuvassa 23 on esitetty rakennusajan lyhentäminen sisävalmistusvaiheen tehtävien aloitusväliä lyhentämällä. Aloitusvälien lyhentäminen edellyttää työkohteiden pienentämistä. Runkovaihe on tahdistettu sisävalmistusvaiheen kanssa ja kokonaisrakennusaika lyhenee yhtä paljon kuin aloitusvälit lyhenevät yhteensä.



Kuva 23. Rakennusajan lyhentäminen sisävalmistusvaiheen tehtävien aloitusväliä lyhentämällä.

3.4. Tehtävien vähentäminen

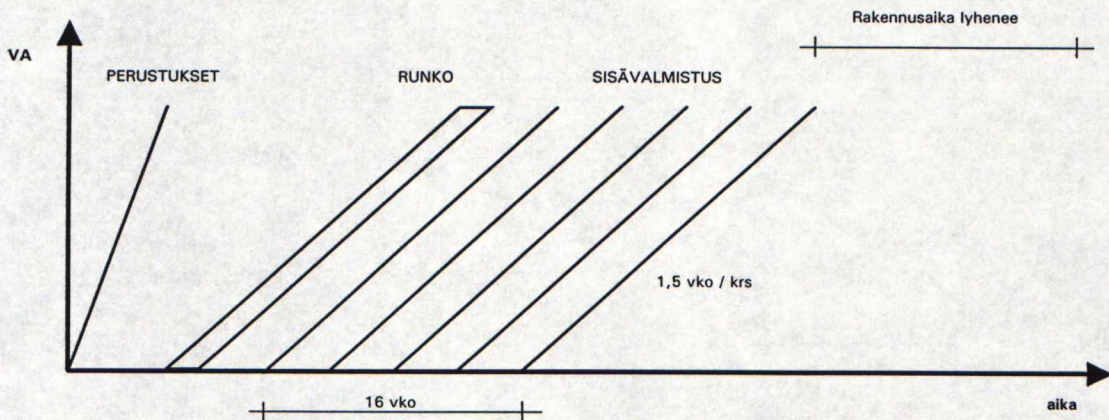
Tehtävien vähentäminen on tehokas keino lyhentää rakennusaikaa. Tehtävien välisillä riippuvuustyypeillä ei ole vaikutusta, kun rakennusaikaa lyhennetään vähentämällä tehtäviä.

Rakennusaika lyhenee yhden aloitusvälin verran, kun yksi tehtävä poistetaan.

Tehtävien lukumäärän vähentäminen lyhentää paikan rakennusaikaa kaavan (2) mukaisesti:¹

$$\begin{aligned}
 T_p &= \sum T_{pi} + \sum a_{pi} \\
 &= \sum T_{pi} + (n_p - 1) * a_p \\
 T_p &= \text{paikan rakennusaika} \\
 T_{pi} &= \text{tehtävän } i \text{ kesto paikassa} \\
 a_{pi} &= \text{tehtävän } i \text{ aloitusväli} \\
 a_p &= \text{tehtävien aloitusväli} \\
 n_p &= \text{tehtävien määrä}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Koska paikallavalettu runko sisältää vain neljä työvaihetta, ei rakennusaikaa voi lyhentää runkovaiheen tehtäviä vähentämällä. Tehtävien vähentäminen kohdistetaan sisävalmistusvaiheeseen. Kuvassa 24 on esitetty rakennusajan lyhentäminen sisävalmistusvaiheen tehtäviä vähentämällä. Tehtävien lukumäärää on vähennetty yhdistämällä useita samankaltaisia tehtäviä suuremmiksi kokonaisuuksiksi suurtehtävien avulla. Kokonaisrakennusaika lyhenee sisävalmistusvaiheen läpimenoajan lyhenemisen verran.



Kuva 24. Rakennusaikaa lyhennetty sisävalmistusvaiheen tehtäviä vähentämällä.

¹ Niiranen, 1991, s.119

3.5. Rakennusajan lyhentämistavan valinta

Tahdistetussa tuotannossa hankkeen kokonaisrakennusaika muodostuu tuotantonopeuden, työvaiheiden aloitusvälin ja sisävalmistusvaiheen läpimenoajan perusteella kuvan 25 mukaisesti. Kokonaisrakennusaika lasketaan kaavan (3) avulla:

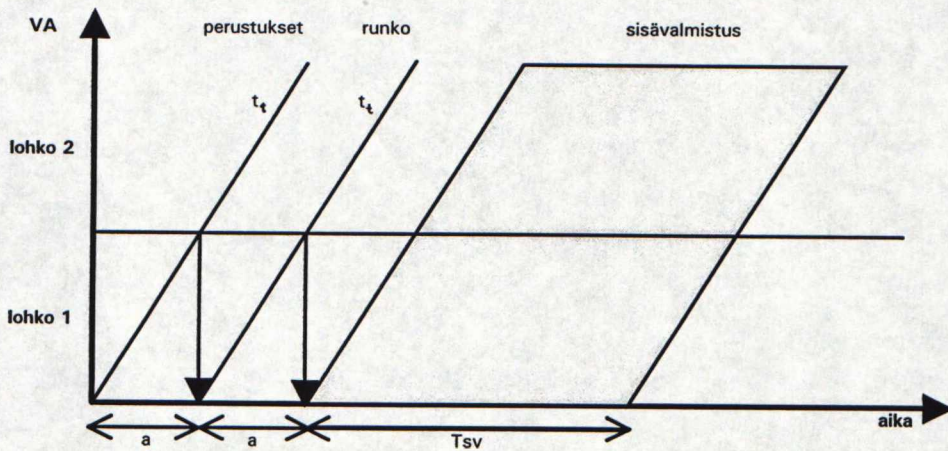
$$T = L * t + 2a + T_{sv} \quad (3)$$

L = lohkojen lukumäärä

t_t = tahdistettu tuotantonopeus

a = työvaiheiden aloitusväli

T_{sv} = sisävalmistusvaiheen läpimenoaika

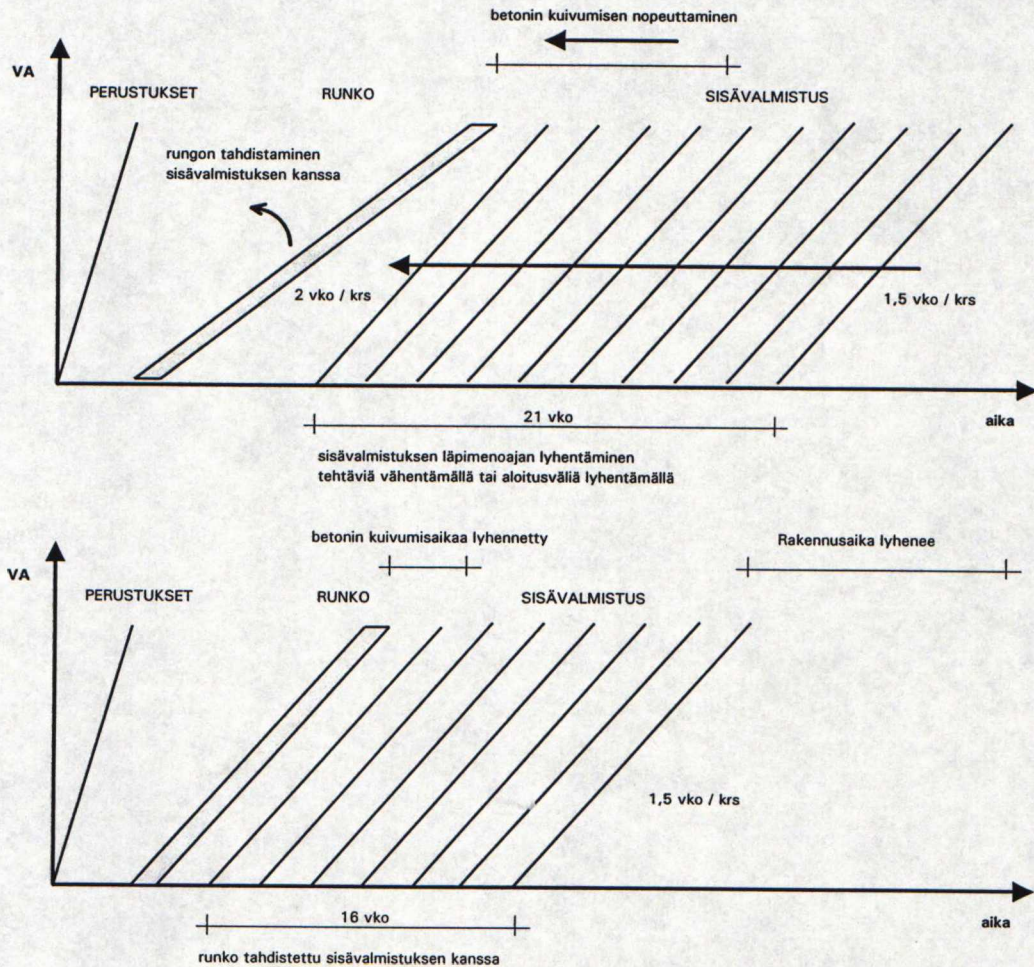


Kuva 25. Kokonaisrakennusajan muodostuminen.

Kokonaisrakennusaikaa voidaan lyhentää tuotannon nopeuttamisella, tehtävien aloitusvälien lyhentämisellä, tehtävien lukumäärän vähentämisellä tai näiden menetelmien yhdistelmillä. Hankkeen laajuus vaikuttaa rakennusajan lyhentämistavan valintaan merkittävästi.

Pienissä kohteissa (alle 5000brm²) ei pelkkä paikallavalurungon tuotannon nopeuttaminen lyhennä kokonaisrakennusaikaa ratkaisevasti, koska runkovaiheen kesto on lyhyt sisävalmistusvaiheen läpimenoaikaan verrattuna. Rungon osuus koko rakennusajasta on vähäinen. Pienen kohteen rakennusaikaa lyhennetään tahdistamalla runko sisävalmistuksen kanssa ja

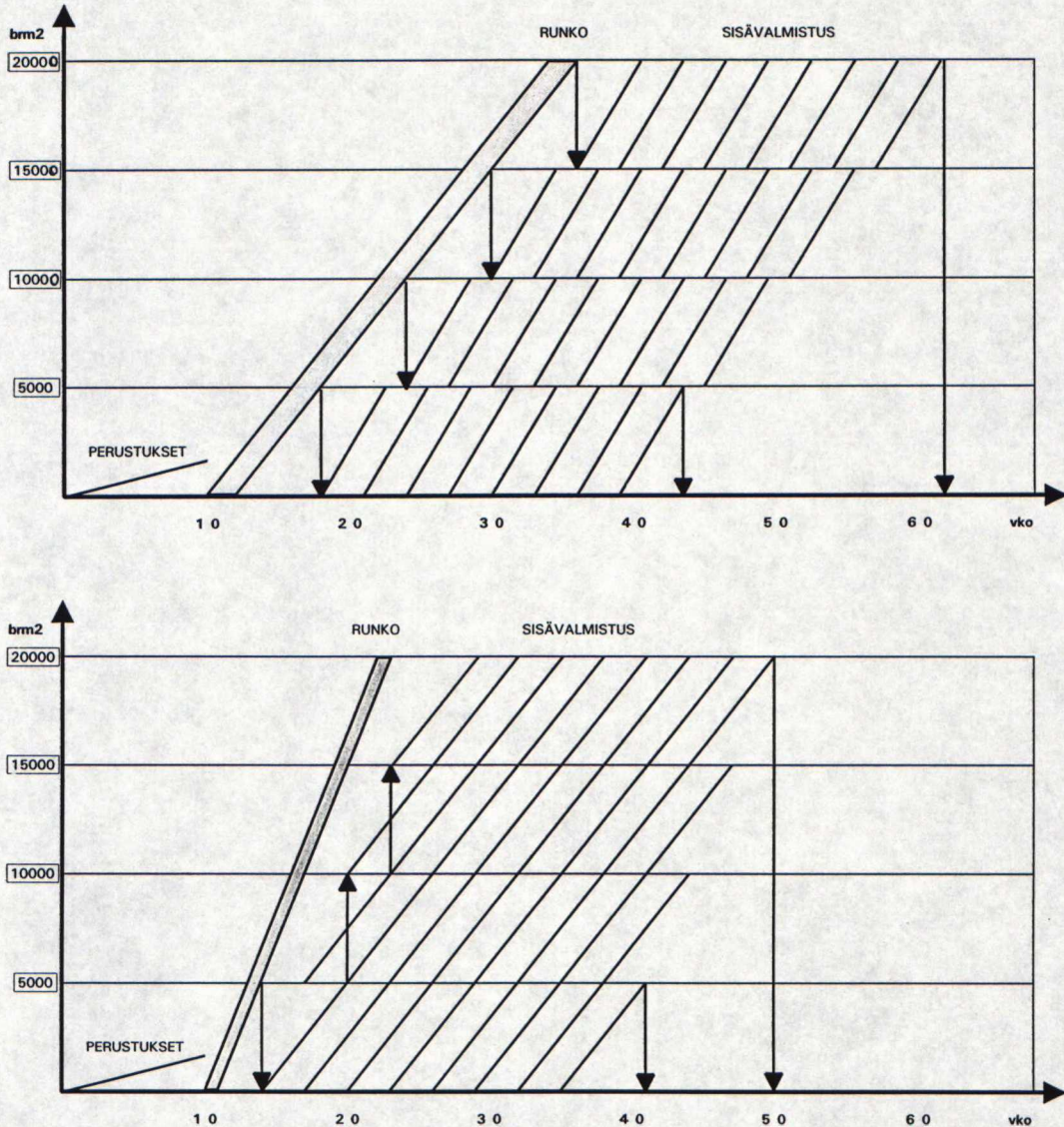
lyhentämällä sisävalmistuksen läpimenoaikaa. Läpimenoajan lyhentäminen edellyttää laatan betonin nopeampaa kuivumista, jotta mattotyöt voidaan aloittaa normaalia aikaisemmin.



Kuva 26. Pienen kohteen rakennusajan lyhentäminen.

Pienen kohteen paikallavalurungon tuotantoa nopeutetaan siten, että sen tehtävillä on sama tahdistava kesto kuin sisävalmistuksen tehtävillä. Sisävalmistusvaiheen läpimenoaika lyhennetään tehtäviä vähentämällä tai pienentämällä niiden aloitusväliä. Sisävalmistuksen läpimenoajan lyhentäminen edellyttää paikallavalurungon betonin kuivumisaajan lyhentämistä ja erillisen lattian pintabetonointityövaiheen poistamista. Laatta valetaan suoraan "valmiiseen pintaan" ja betonin riittävän nopea kuivuminen ennen lattian pintamateriaalien asennusta varmistetaan käyttämällä nopeasti kuivuvia betonilaatuja.

Suuren kohteen (yli 5000brm2) rakennusaikaa lyhennetään paikallavalurungon tuotantoa nopeuttamalla. Rungon nopeuttamisella on merkittävä vaikutus, koska runkovaiheen kesto on suuri sisävalmistusvaiheen läpimenoaikaan verrattuna.



Kuva 27. Suuren kohteen rakennusajan lyhentäminen.

Sisävalmistustyöt voidaan aloittaa lohkoissa aikaisemmin ja kokonaisrakennusaika lyhenee yhtä paljon kuin viimeisen lohkon sisävalmistuksen aloitus aikaistuu. Kuvasta 27 nähdään, että rungon tuotannon nopeuttamisen vaikutus rakennusajan lyhentämisessä kasvaa kohteen laajuuden kasvaessa. Nopeuttamisen vaikutus ei riipu kohteen vaaka- tai pystymi- toista.

4. RUNGON TUOTANNON SUUNNITTELU

4.1. Paikallavalurungon tuotantotekniikka

Paikallavalettu pilari-laatta -runko muodostuu kantavista pystyrakenteista, joita ovat paikallavaletut pilarit ja porrashuoneiden seinät, sekä vaakarakenteena toimivasta massiivilaatasta. Porrashuoneiden seinät toimivat rungon jäykisteenä. Pystykannattajina toimivien hoikkien pilareiden ansiosta rakennuksen runko on erittäin avoin ja sallii pilareiden suhteellisen vapaan sijoittelun elementtitekniikkaan verrattuna. Kevyet väliseinät voidaan sijoittaa vapaasti ilman rungon rajoittavaa vaikutusta ja niiden siirtäminen ja purkaminen rakennuksen käyttötarkoituksen muuttumisen myötä voidaan toteuttaa ilman rungon muuttamista. Tämän takia pilari-laatta -runko on yleisesti käytetty runkojärjestelmä liike- ja toimistorakennusten tuotannossa.

Pilari-laatta -rungon tuotannossa käytetyt muottijärjestelmät vaihtelevat kohteen suunnitteluratkaisusta ja valitusta tuotantotekniikasta riippuen. Pilareiden muottina käytetään yleensä lasikuituisia kasettimuotteja, jotka koostuvat kahdesta täyspitkästä tai jatkettavasta muottipuoliskosta. Puoliskot kiinnitetään toisiinsa pulttikiinnityksellä. Seiniin muottina käytetään joko valmista suurmuottia tai työmaalla koottavaa levymuottia. Suurmuottien käyttö on kannattavaa, jos muotitettavat seinät ovat suuria tai niissä on vain vähän kulmia. Laatan muottina käytetään pöytä- tai levymuottia. Pöytämuotti varustetaan yleensä siirtovaunulla ja pudotuspäällä. Pöytämuotin käyttö on kannattavaa, jos pilarilinjat ovat suoria ja muottityössä päästään työn toistuvuuden hyväksikäyttöön. Laatan levymuottia käytetään kohteissa, joissa suunnitteluratkaisu vaatii muottityöltä suurta joustavuutta.

Pystyrakenteiden raudoitus tehdään yleensä esivalmistetuista valmisraudoitteista ja irtotangoista. Pilareiden raudoituselementit asennetaan usein paikalleen ennen kasettimuottien

asennusta. Seinät muotitetaan ensin vain toiselta puolelta, minkä jälkeen asennetaan raudoitteet. Toinen puoli muotitetaan vasta raudoituksen asennuksen jälkeen. Laatan raudoitukseksi käytetään joko valmiita kaistaraudoitteita, rauditusverkkoja tai rauditus valmistetaan paikalla irtotangoista. Teollisesti valmistettujen kaistaraudoitteiden käyttö vähentää työmaalla tapahtuvaa raudoitustyötä merkittävästi ja nopeuttaa työn suoritusta. Laatan rauditus tehdään tällöin asentamalla valmiita eri kokoisia raudituselementtejä limittein toisiinsa nähden suoraan muottien päälle.

Paikallavalutuotannossa käytetään yleisesti valmisbetonimassoja, joiden lujuusluokka vaihtelee välillä K30...K45. Betonilaadun vaikutus työn toteutukseen ja haluttujen ominaisuuksien saavuttamiseen on merkittävä. Betonin valitsevat pääasiassa rakennesuunnittelija ja työmaan betonitoista vastaava henkilökunta. Valinnan ensimmäisessä vaiheessa etsitään betonit, jotka täyttävät teknisesti viranomaisten, rakennuttajan, suunnittelijoiden ja työmaan vaatimukset. Toisessa vaiheessa teknisesti soveltuvien betonien joukosta valitaan taloudellisin laatu tarkastelemalla kokonaiskustannuksia, jotka muodostuvat massakustannusten lisäksi muista betonointiin liittyvistä kustannuksista.

Valutyö suoritetaan torninosturin tai pumpun avulla. Laatan betoni valetaan joko suoraan valmiiseen pintaan tai käytetään erillistä lattian pintavalua. Valmiiseen pintaan valettaessa laatan pinta hierretään koneellisesti muutaman tunnin kuluttua valusta. Pystyrakenteiden muotit puretaan yleensä 1-2 vuorokauden kuluttua valusta. Laatan muotit puretaan osittain 2-5 vuorokauden kuluttua valusta, mutta aputuennat vasta 1-2 viikon kuluttua käytetystä betonilaadusta ja betonin kovettumisolosuhteista riippuen.

4.2. Tehtävien tahdistus ja rytmitys

Runkovaiheen tehtävät tahdistetaan kestoaltaan yhtä pitkiksi. Jos tehtävien suoritemäärät vaihtelevat eri työkohteissa, on ne rytmitettävä eli suunniteltava työkohteittain jatkuviksi. Tehtävien tahdistus ja rytmitys ovat välttämättömiä tuotannon ohjattavuuden turvaamiseksi.

Tehtäville määritetään tahdistava kesto runkovaiheen kokonaiskeston, tahdistavien tehtävien lukumäärän ja työkohteen koon perusteella. Tehtävien aloitusväli määritetään niin, että tahdistavilla tehtävillä on koko ajan työkohde ja varatyökohde. Tahdistava kesto lasketaan runkovaiheen tehollisen rakennusajan perusteella seuraavasti:¹

$$T_t = T - (n-1) * T_A \quad (4)$$

T = tehollinen kesto

n = tehtävien lukumäärä

T_A = tehtävien aloitusväli

Runkovaiheen tehtävien tahdistus tehdään muuttamalla työryhmien lukumäärää, sisäistä koostumusta tai tehtävien työsisältöä. Tahdistuksen tuloksena saadaan mitoitettu tehtäväluettelo, joka sisältää työryhmät ja tehtävien kestot osakohteittain.

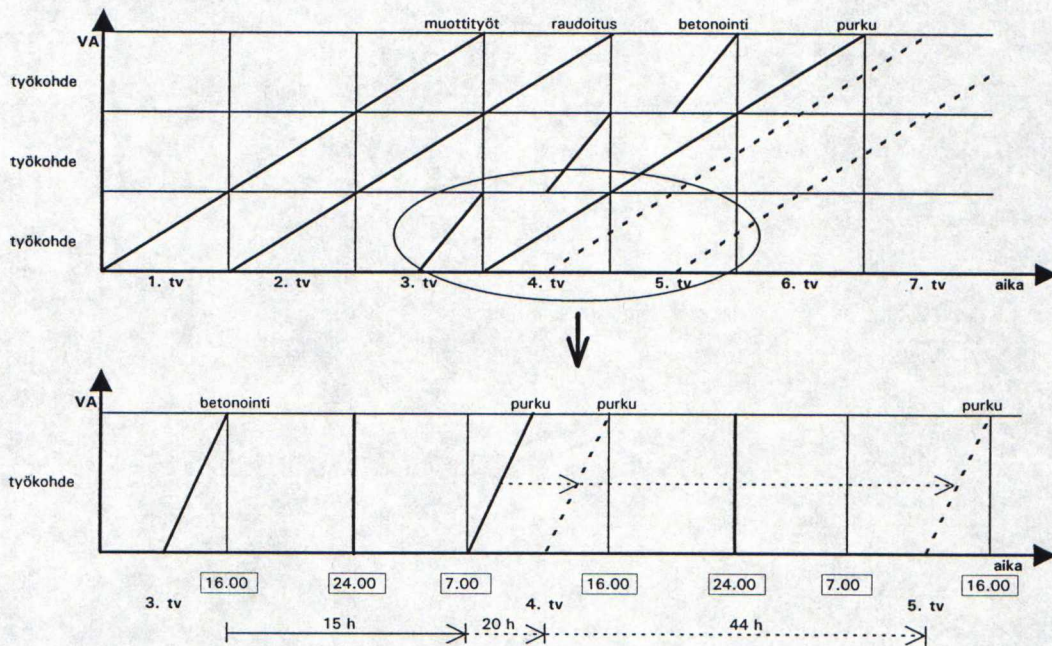
TEHTÄVÄ	määrä/krs	yksikkö	tth/yks	tth/krs	työryhmä	lasketut tunnit	suunniteltu kesto
Muottien esivalmistus - pilarit, kasettimuotti	159	m2	0,350	56	2 + 1	19	48
MUOTTIRYHMÄ				153	2 + 1	51	
Pilarien ja seinien muottityöt yht.	339	m2	0,385	63	2 + 1		
- pilarit							
- mittaus	159	m2	0,105	17			
- siirto ja asennus	159	m2	0,210	33			
- seinät							
- mittaus	180	m2	0,014	3			
- siirto ja asennus	180	m2	0,056	10			
Laatan muottityöt yht.	954	m2	0,095	90	2 + 1		
- mittaus	954	m2	0,018	17			
- siirto ja asennus	954	m2	0,077	73			

Kuva 28. Muottitöiden mitoitettu tehtäväluettelo.

¹ Tuominen, 1993, s.32

Paikallavalurungon tehtävien tahdistuksessa käytetään työryhmien sisäisen koostumuksen ja tehtävien työsisällön muuttamista. Runkovaiheen tehtäville määrätään tahdistava kesto muottityön perusteella ja kaikki muut tehtävät tahdistetaan kestoiltaan yhtä pitkiksi työryhmien miesvahvuutta ja tehtävän työsisältöä muuttamalla.

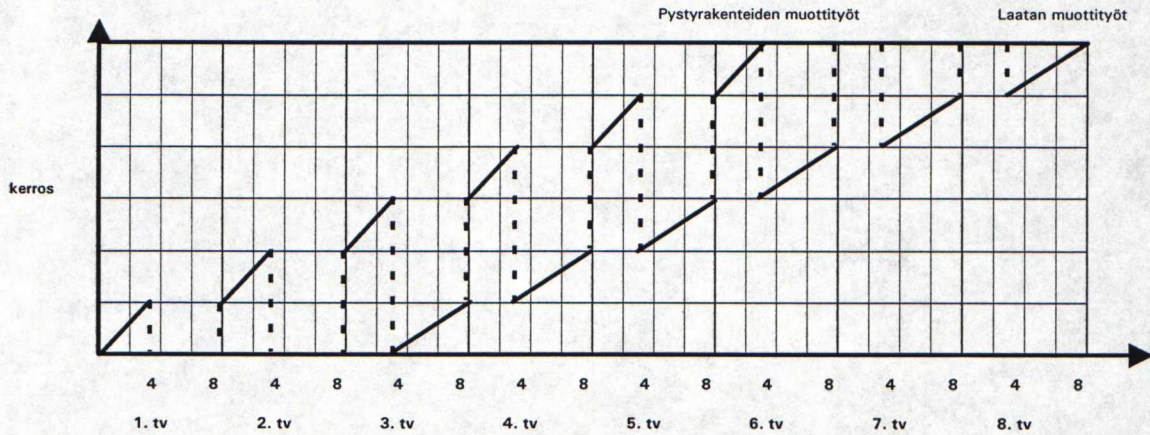
Betonointityön luonteesta johtuen, määrätään tehtävien tahdistava kesto sellaiseksi, että se soveltuu hyvin käytettävän työvuoron pituuteen. Betonointi on kertaluonteinen yhtäjaksoinen työvaihe, joka on suoritettava työkohteessa loppuun saman työpäivän aikana. Paikallavalutuotannon muut työvaiheet eivät ole sidoksissa työvuoron pituuteen, sillä työt voidaan keskeyttää yön ajaksi ja jatkaa jälleen seuraavana päivänä. Rungon tuotantonopeus, työvuoron pituus ja päiväriippuvuus vaikuttavat työkohteen kokoon kuvan 29 mukaisesti.



Kuva 29. Rungon tuotannon päiväriippuvuus.

Tuotannon päiväriippuvuuden vaikutuksia voidaan vähentää tai riippuvuus kokonaan poistaa joustavan työajan ja vuorotyön käytöllä.

Tahdistuksen jälkeen tehtävät rytmitetään. Rytmityksellä tehtävät saatetaan jatkuviksi siten, että samalla tyydytetään tehtävien työkohteriippuvuudet. Rytmityksen avulla varmistetaan siitä, että kaikilla työryhmillä on jatkuvasti töitä ja tuotanto etenee häiriöittä suunnitelman mukaisesti. Rytmitys on tarpeellinen, jotta työnaikainen tuotannon ohjaus olisi mahdollista ja häiriöt työkohteen loppumisesta torjuttaisiin etukäteen. Paikallavalurungon tuotanto etenee tiukasti tahdistettuna työkohteesta toiseen kuten solutuotannossa. Työryhmän koostumus säilyy vakiona ja tehtävät rutinoituvat ryhmän sisällä. Kuvassa 30 on esitetty muottityöryhmän töiden rytmitys yhdessä kerroksessa. Sama työryhmä tekee sekä pystyrakenteiden, että laatan muottityöt.



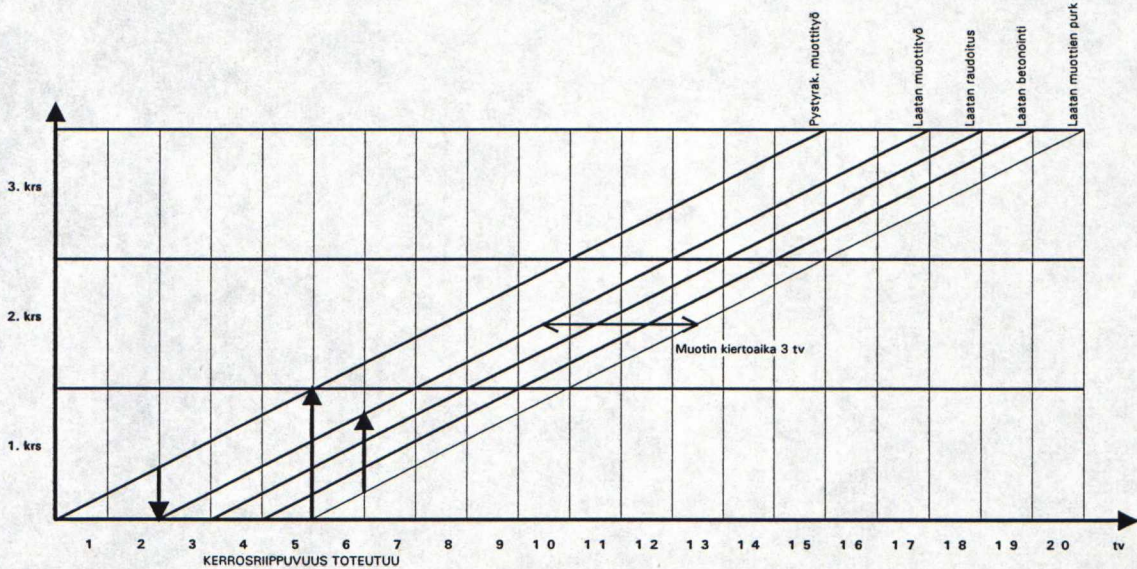
Kuva 30. Muottitöiden rytmitys kerroksessa.

4.3. Runkovaiheen aikataulun laatiminen

Runkovaiheen aikataulu laaditaan kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa rungon tuotanto suunnitellaan yhtenä kokonaisuutena koko hankkeelle. Muottityön aikataulu laaditaan tahdistavan keston mukaisesti koko rungolle. Muut työvaiheet piirretään runkovaiheen paikka-aikakaavioon muottityöhön tahdistettuina.

Paikallarakennetun kohteen runko suunnitellaan kokonaisuutena. Runkovaiheen työsuunnittelussa mitoitetaan ensin tahdis-

tava työvaihe eli paikallarakennetussa kohteessa muottityö. Muut rungon työvaiheet mitoitetaan samanpituisiksi tahdistavan työvaiheen kanssa.

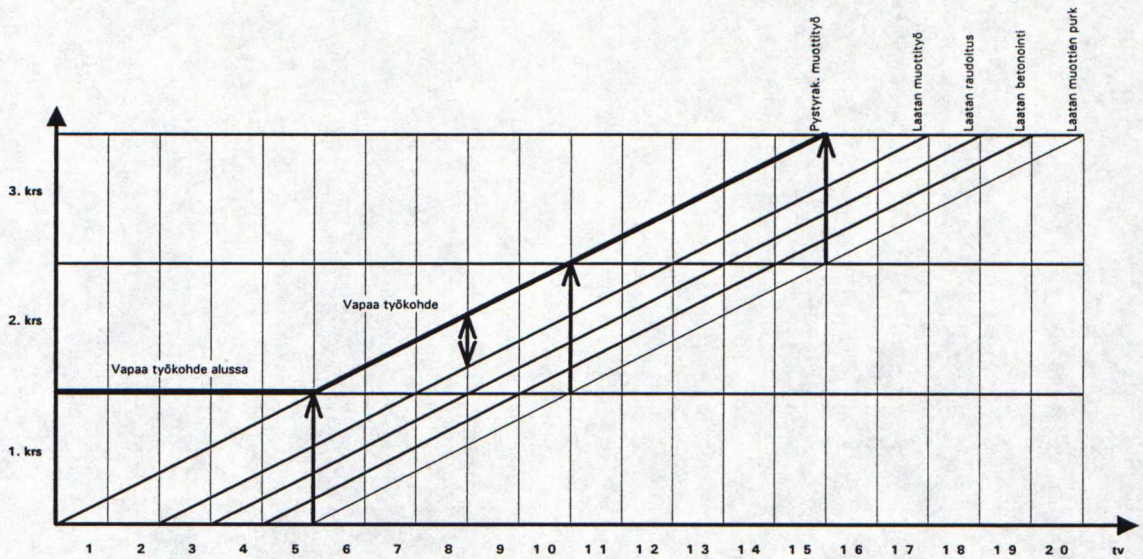


Kuva 31. Rungon tehtävien tahdistaminen laatan muottityön mukaan.

Paikallavaletun rungon muottityö sitoo työkohteen ja betonoinnin kovettuminen vapauttaa työkohteen seuraavassa kerroksessa. Runkovaiheen karkean aikataulun laadinnan yhteydessä tarkistetaan vapaan työkohteen riittävyys. Vapaalla työkohteella tarkoitetaan kullakin hetkellä muottityölle käytettävissä olevan työkohteen suuruutta.¹ Mitä suurempi on vapaa työkohde, sitä häiriöttömämpää muottityö on.

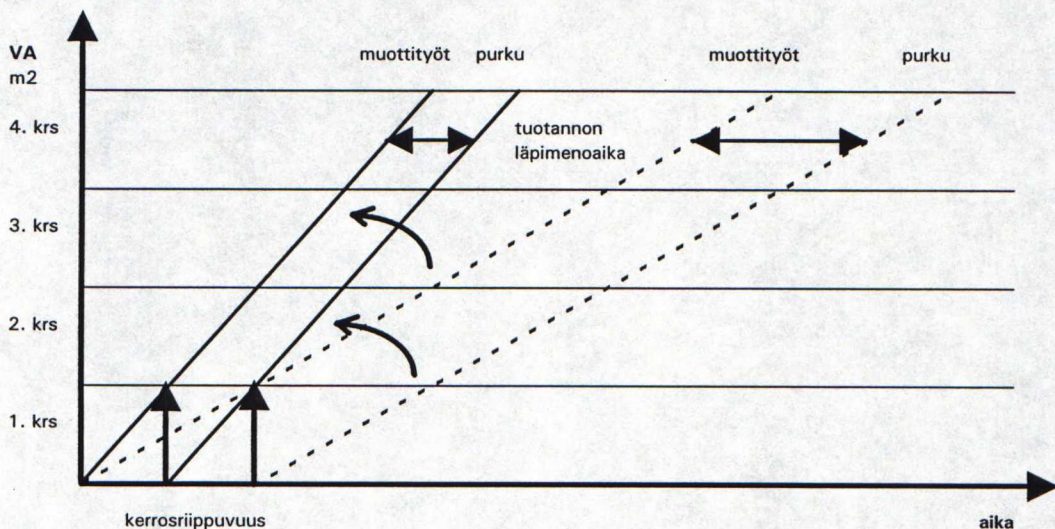
Vapaan työkohteen määrän tarkistus tehdään piirtämällä sitoutuneen ja vapaan työkohteen määrä paikka-aikakaavioon. Vapaan työkohteen määrä näkyy kuvaajassa työkohdetta vapauttavan ja sitä sitovan käyrän erona. Suuressa paikallavaletussa kohteessa vapaan työkohteen tarkistus on tehtävä erikseen pysty- ja vaakarakenteille.

¹ Tuominen, 1993, s.41



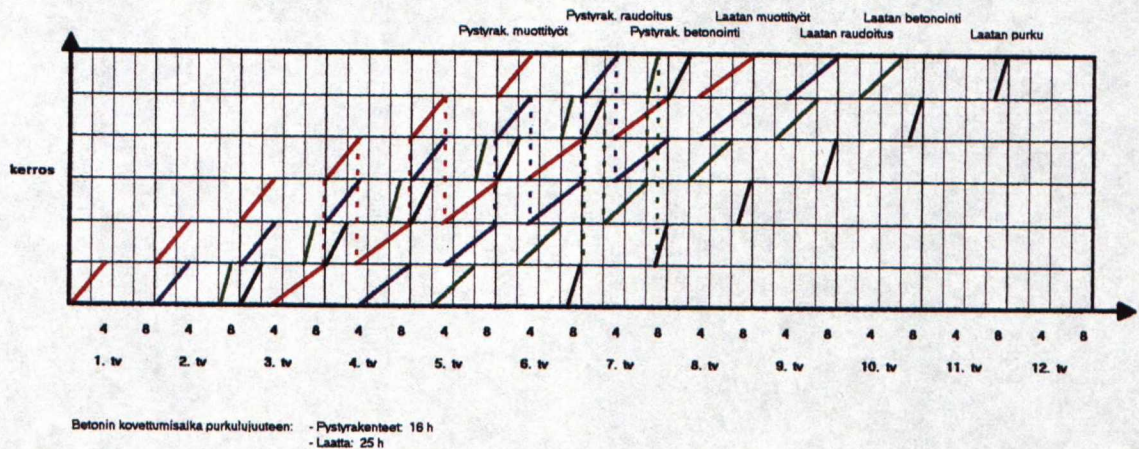
Kuva 32. Vapaan työkohteen määrän tarkistus runkovaiheessa.

Paikallavaletun rungon tuotannon nopeuttamisessa on varmistettava, että kerrosriippuvuus toteutuu. Kerrosriippuvuudella tarkoitetaan pystyrakenteiden muottityön ja laatan purkulujuuden saavuttamisen keskinäistä ajoitusta siten, että alemman kerroksen laatta on kovettunut purkulujuuteensa ennen yläpuolisten pystyrakenteiden muottityön aloitusta. Rungon tuotantonopeuden kasvattaminen pakottaa pienenpään tuotannon läpimenoaikaan kerrosriippuvuuden vaikutuksesta. Tällöin tehtävien aloitusväli lyhenee ja työkohteen koko pienenee tuotantonopeuden kasvaessa.



Kuva 33. Kerrosriippuvuuden vaikutus tuotannon nopeuttamisessa.

Kerrosriippuvuuden tarkistuksen jälkeen runkovaiheen tuotannon suunnittelua tarkennetaan edelleen hanke- ja lohko- ja työkohdetasolle. Tehtävien rytmitys ja tuotannon jatkuvuus varmistetaan tarkennetussa suunnittelussa. Työryhmien eteneminen työkohteesta toiseen rytmitetään paikka-aika-kaaviolla jatkuvaksi. Samalla varmistetaan resurssien mahdollisimman tasainen käyttö. Rungon tuotannon tarkennettu aikataulu on esitetty kuvassa 34.



Kuva 34. Runkovaiheen yksityiskohtainen aikataulu.

4.4. Muottikalustotarkistus

Paikallavalurungon tuotannossa tarvittavan muottikaluston määrä tarkistetaan kaavan (5) avulla:¹

$$M = k * t * T_1 \quad (5)$$

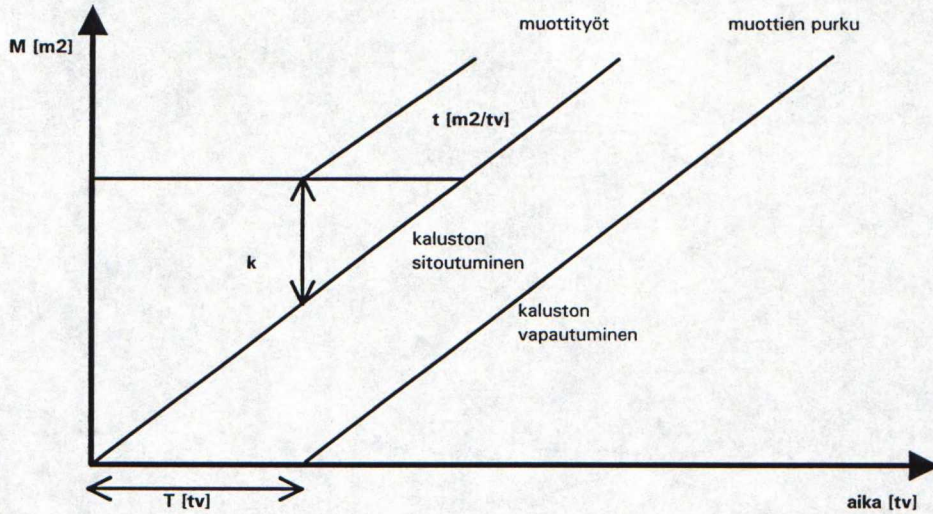
M = muottikaluston määrä [m²]

k = kaluston lisäkerroin

t = tuotantonopeus [m²/tv]

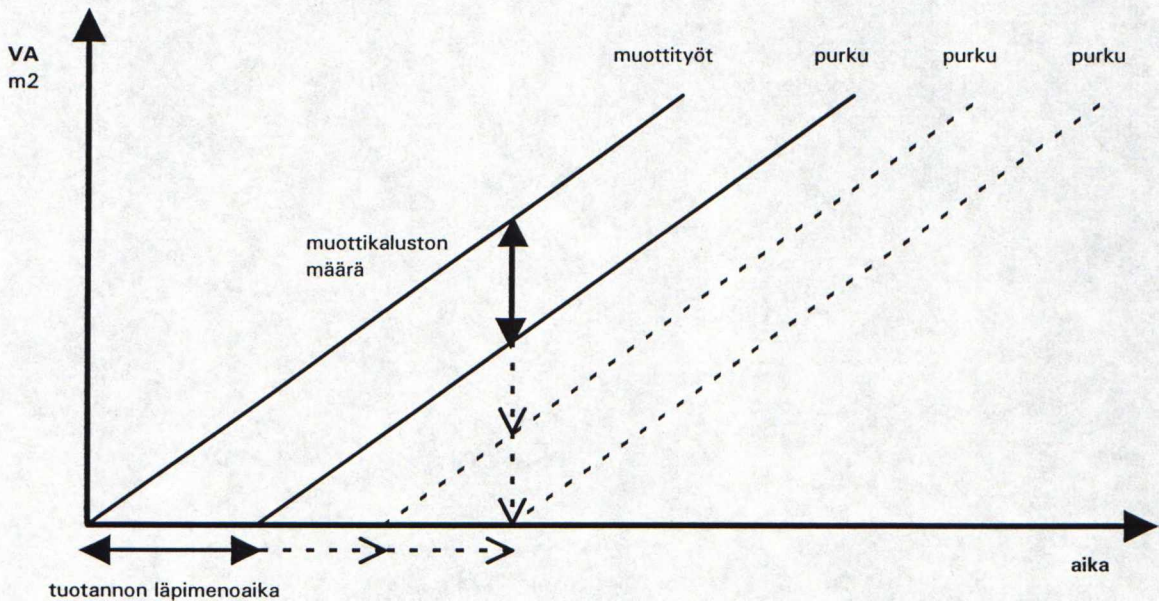
T_1 = tuotannon läpimenoaika [tv]

¹ Toikkanen S., 1994



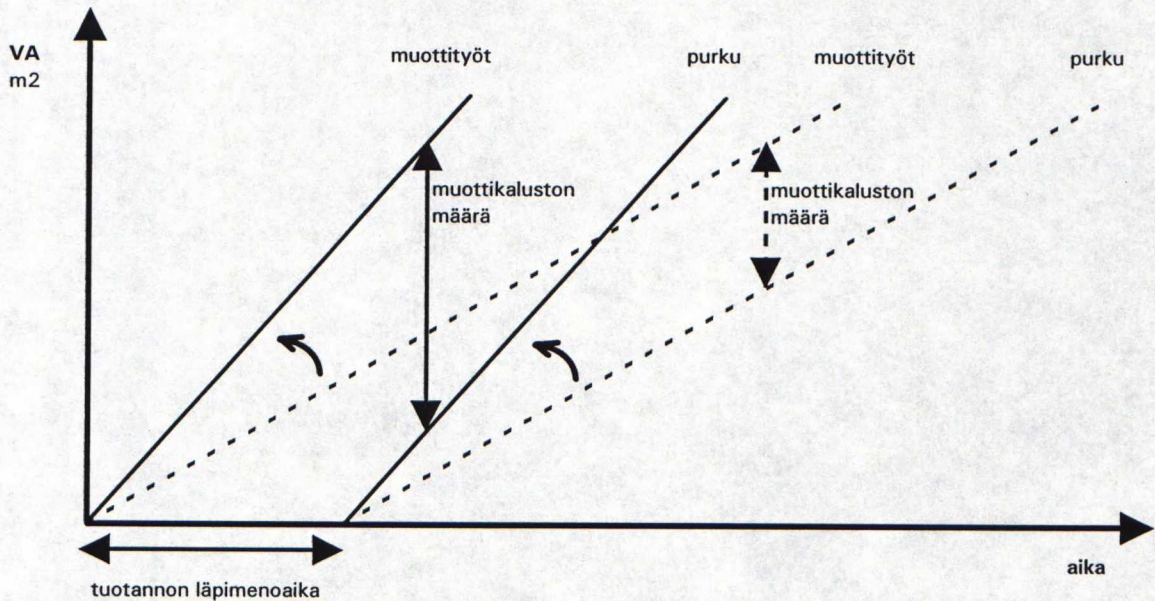
Kuva 35. Muottikaluston määrän tarkistus.

Muottityö sitoo kalustoa ja muottien purku vapauttaa sitä. Kullakin hetkellä vapaana oleva muottimäärä saadaan muottien kokonaismäärän ja työkohteisiin sitoutuneen muottimäärän erotuksena. Vapaana oleva muottikalustovarasto on suunniteltava riittäväksi, vaikka tuotanto kustannussyistä pyritäänkin toteuttamaan mahdollisimman pienellä muottikalustomäärällä.



Kuva 36. Muottien purun ajoituksen vaikutus muottikaluston määrään.

Rungon tuotantonopeuden kasvattaminen lisää muottikaluston tarvetta, jos tuotannon läpimenoaika pysyy vakiona. Kalustotarpeen kasvaminen aiheutuu siitä, että työvaiheiden nopeutuksessa muotteja sitoutuu enemmän ennen kuin purkutyöt ehtivät vapauttaa niitä uudelleen käyttöön. Muottikaluston määrän pitäminen vakiona tuotantoa nopeutettaessa edellyttää tuotannon läpimenoajan lyhentämistä sekä tehtävien aloitusvälien ja työkohteiden pienentämistä.



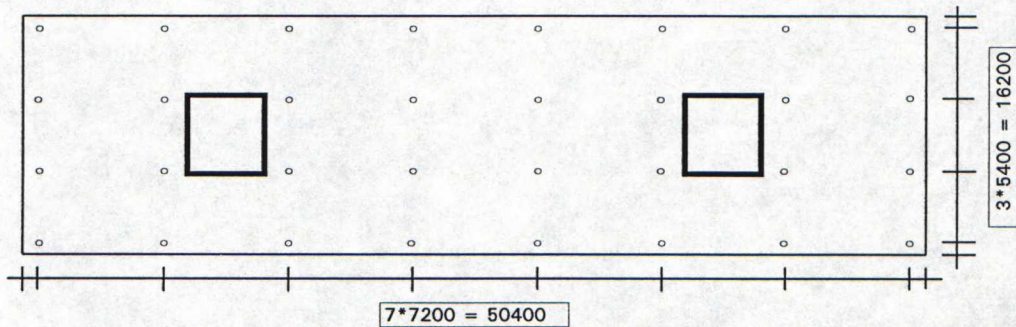
Kuva 37. Rungon tuotannon nopeuttamisen vaikutus muottikaluston määrään.

5. RUNGON TUOTANNON NOPEUTTAMINEN

5.1. Rungon tuotannon nopeuttamisen malli

Paikallavaletun pilari-laatta -rungon tuotannon nopeuttamista tutkittiin hypoteettisen mallikohteen avulla. Kohteena oli kolmekerroksinen liike- ja toimistorakennus, jonka kerrostaso on noin 1000m² ja bruttoala noin 3000m². Rakennuksen betonirunko toteutetaan paikalla valaen ja julkisivut tehdään nauhaelementeistä. Rakennuksen jäykisteenä toimivat porrashuoneiden paikallavaletut seinät.

Rakennuksen runkona on puhdas pilari-laatta -runko, jossa paikallavaletut pilarit liittyvät suoraan laattaan ja palkkeja ei tarvita. Pilarit on sijoitettu säännölliseen ruudukkoon pilarivälin ollessa tyypillinen 5,4 ja 7,2 m. Pilarit ovat poikkileikkaukseltaan pyöreitä ja niiden halkaisija on 480 mm. Pilareiden pituus on 3,3 m ja rauditus keskimäärin 15 kg / jm. Pilareita on 32 kpl / krs.



kerrosala: 954 m²
kerroskorkeus: 3,5 m

bruttoala: 2862 m²

PILARIT: (32 kpl / kerros)
- koko: $\phi = 480$ mm
- pituus: $l = 3300$ mm
- rauditus: 15 kg / m

LAATAT: (954 m² / kerros)
- paksuus: $h = 250$ mm
- rauditus: 15 kg / m²

Kuva 38. Rungon nopeuttamisen hypoteettinen mallikohde.

Mallikohteessa on kaksi erillistä porrashuonetta, jotka sijaitsevat rakennuksen keskilinjalla. Porrashuoneiden seinät ovat paikallavalettuja teräsbetoniseiniä ja niiden paksuus on 200 mm. Seinissä on raudoitusta 10 kg / m². Seiniä on yhteensä 180 m² / krs. Rakennuksen kantavana vaakarakenteena toimii paikallavalettu 250 mm paksuinen teräsbetonilaatta. Laatussa on raudoitusta keskimäärin 15 kg / m².

Mallikohteen muottikalustona käytetään pilareissa lasikuituista kasettimuottia, jäykistävässä ja osastoivissa seinissä tavanomaista suurmuottia ja laatussa pudotuspäällä ja siirtovaunulla varustettua pöytämuottia. Muottikalusto valittiin sellaiseksi, että sen työmenekki oli pieni ja tuotannon nopeuttaminen työnsuunnittelun avulla helposti toteutettavissa. Pystyrakenteiden rauditus tehdään työmaalla esivalmiste-

tuista raudoitteista tai tehdasvalmisteisista raudoituselementeistä. Laatan raudoituksena käytetään valmiita kaistauradotteita. Raudoitustyöt tehdään omana työnä tai aliurakana rungon tuotantonopeudesta riippuen.

Mallikohteen rungon tehtävien mitoituksessa käytetään Ratu Aikataulukirja 1990:n mukaisia työmenekkejä pienennettynä 30 %:lla, jotta ne vastaisivat paremmin tämän hetken tuotantoa.

5.2. Perustapaus

Hypoteettisen mallikohteen tuotannon nopeuttamisen lähtötilanteena on käytetty 80 h / 1000 krs-m² tahdistavaa kestoa, mikä vastaa nykyistä normaalia paikallavalutuoantoa. Perustapauksessa jokaisen runkovaiheen tehtävän suoritus kestää n. 1000 m² kerroksessa kaksi täyttä 40 tunnin työviikkoa. Kohteen runko toteutetaan yhtenä lohkona. Runkovaiheen paikka-aikakaavio on esitetty kuvassa 40.

Rungon tuotantonopeus on 10 tv / krs + 10 tv eli 100 m² / tv ja kokonaisläpimenoaika 40 työvuoroa. Kerrokset on jaettu viiteen työkohteeseen, joista kukin on suuruudeltaan noin 190 m². Pilarimuottien kiertoaika on 4 vrk ja muottikalustotarve 13 kpl. Seinämuottien kiertoaika on myös 4 vrk ja minimikalustotarve n. 1/2 krs eli 80 m². Laattamuottien kiertoaika on 6 vrk. Laatan minimi muottikalustotarve on 580 m².

MALLIKOHTEN TEHTÄVIEN TAHDISTUS TYÖRYHMITÄIN
TYÖMENEKKINÄ RATU-30%

tahdistava kesto 80 h

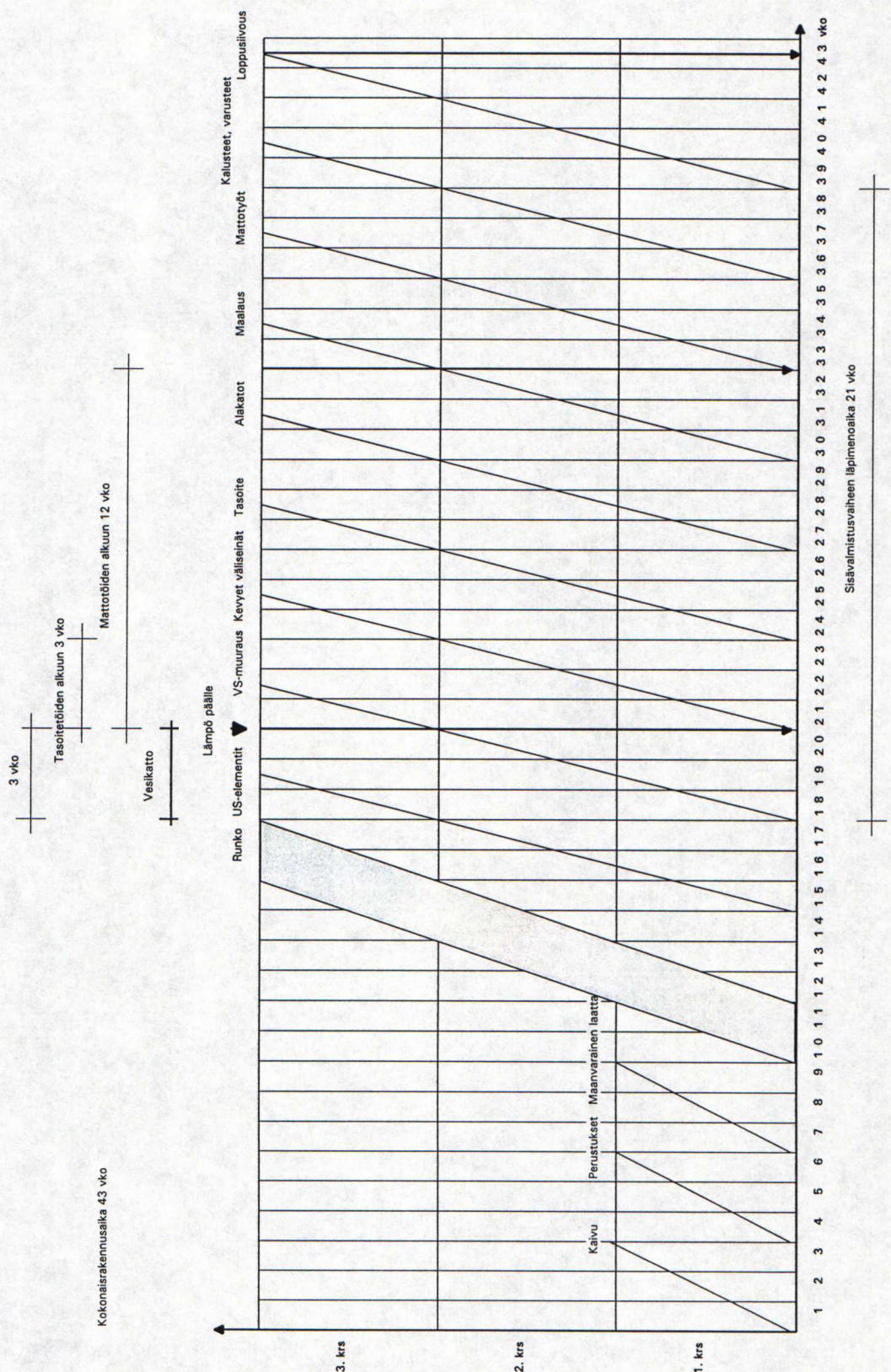
TEHTÄVÄ	määrä/krs	yksikkö	tth/yks	tth/krs	työryhmä	tunnit	kesto h/krs
Muottien esivalmistus - pilarit, kasettimuotti	159	m2	0,350	56	1 + 1	28	
MUOTTIRYHMÄ				153	1 + 1	76	80
Pilarien ja seinien muotittyyöt yht.	339	m2	0,385	63	1 + 1	31	35
- pilarit							
- mittaus	159	m2	0,105	17			
- siirto ja asennus	159	m2	0,210	33			
- seinät							
- mittaus	180	m2	0,014	3			
- siirto ja asennus	180	m2	0,056	10			
Laatan muotittyyöt yht.	954	m2	0,095	90	1 + 1	45	45
- mittaus	954	m2	0,018	17			
- siirto ja asennus	954	m2	0,077	73			
RAUDOITUSRYHMÄ				97	1 + 1	48	50
Pilarien ja seinien raudoitus yht.	3400	kg	0,022	37	1 + 1	18	20
- pilarit							
- esivalmistus	1600	kg	0,009	15			
- siirto ja asennus	1600	kg	0,001	2			
- seinät							
- esivalmistus	1800	kg	0,005	9			
- siirto ja asennus	1800	kg	0,006	11			
Laatan raudoitus yht.	14310	kg	0,004	60	1 + 1	30	30
- siirto ja asennus	14310	kg	0,004	60			
BETONOINTI- JA PURKURYHMÄ				123	0 + 2-3	57	60
Pilarien ja seinien betonointityöt yht.	55	m3	0,756	21	0 + 2	10	10
- pilarit							
- valmistelevat työt	19	m3	0,028	1			
- betonin vastaanotto	19	m3	0,098	2			
- betonointi	19	m3	0,238	5			
- lopettavat työt	19	m3	0,028	1			
- seinät							
- valmistelevat työt	36	m3	0,049	2			
- betonin vastaanotto	36	m3	0,098	4			
- betonointi	36	m3	0,189	7			
- lopettavat työt	36	m3	0,028	1			
Laatan betonointityöt yht.	954	m2	0,074	71	0 + 3	24	25
- valmistelevat työt	954	m2	0,004	4			
- betonin vastaanotto	954	m2	0,011	11			
- betonointi	954	m2	0,035	33			
- lopettavat työt	954	m2	0,003	3			
- hieto ja viimeistely	954	m2	0,021	20			
Pystyrakenteiden purku- ja puhdistustyöt yht.	339	m2	0,200	32	0 + 2	16	15
- pilarit							
- purku ja puhdistus	159	m2	0,189	30			
- seinät							
- purku ja puhdistus	180	m2	0,011	2			
Laatan puhdistustyöt yht.	954	m2	0,014	13	0 + 2	7	10
- puhdistus ja öljyäminen	954	m2	0,014	13			

tehtävä	työryhmä	tahdistus	kesto h/krs	kesto h/työk.
MUOTTITYÖT	1 + 1	80 h	80	16
- pystyrakenteet			35	7
- laatta			45	9
RAUDOITUSTYÖT	1 + 1	80 h	50	10
- pystyrakenteet			20	4
- laatta			30	6
BETONOINTI- JA PURKUTYÖT	0 + 2-3	80 h	60	12
- pystyrakenteet			25	5
- laatta			35	7

- Pilarimuottina lasikuituinen kasettimuotti, pulttikiinnitys.
- Seinämuottina suurmuoti.
- Laattamuottina pudotuspäällä ja siirtovaunulla varustettu pöytämuotti.
- Laatan raudoituksena kaistaraudoitteet.

Kuva 39. Nopeuttamisen lähtötilanteen tahdistettu tehtävälue-
ettelo.

VIITEKOHTTEEN PAKKA-AIKAKAAVIO
RUNKON TAHDISTAVA KESTO 80 h / krs



Kuva 41. Koko hankkeen paikka-aikakaavio.

Mallikohteen runkovaiheen kokonaiskesto on kahdeksan viikkoa. Sisävalmistusvaiheen läpimenoaika on 21 viikkoa ja kokonaiskesto 26 viikkoa (kuva 41). Hankkeen kokonaisrakennusajaksi muodostuu 43 viikkoa. Vesikattotyöt kestävät kolme viikkoa ja lämpö saadaan päälle kolmen viikon kuluttua rungon valmistamisesta. Mattotyöt aloitetaan 12 viikon kuluttua lämmön päälle kytkemisestä.

Tuoreen paikallavaletun rungon rakenteiden kosteuspitoisuus on erittäin suuri. Betonimassan sisältämä vesi poistuu rakenteista hitaasti haihtumalla. Rungon sisältämä vesi haihtuu sekä ylös että alaspäin ja haihtumisnopeus on normaalisti käytetyillä betonimassoilla + 20 asteen lämpötilassa noin 1...1,5 cm / vko. Mallikohteen 250 mm paksuinen laatta saavuttaa mattotöiden aloittamisen edellyttämän RH 85 % kuivuuden noin 12 viikon kuluessa lämmön päälle kytkemisestä.

5.3. Nopean tuotannon mallit

Tyypillisen toimistorakennuksen sisävalmistusvaiheen tehtävien tahdistava kesto on nykyisin noin 56 h / 1000 krs-m². Rungon nopeuttamisen ensimmäisessä vaiheessa käytettiin samaa 56 tunnin tahdistavaa kestoa. Runkovaiheen tehtävät tahdistettiin sisävalmistusvaiheen kanssa.¹ Tuotantomallissa yksi muottityöryhmä tekee sekä pystyrakenteiden että laatan muottityöt. Työryhmän koostumus on 2 RAM + 1 RM. Ryhmän työt on rytmitetty työkohteittain jatkuvaksi. Kohteen raudoitustyöt tehdään yhdellä koostumukseltaan vakiolla 1 RAM + 1 RM työryhmällä. Betonointi- ja muotin purkutyöt tehdään yhdellä 0 RAM + 2-3 RM aputyöryhmällä. Työryhmän koostumus vaihtelee hieman eri työvaiheissa. Betonointi suoritetaan kolmella ja purkutyöt kahdella työntekijällä.

Runkovaiheen tuotantonopeus on 7 tv / krs + 7 tv eli 140 m² / tv ja kokonaisläpimenoaika 28 työvuoroa. Kukin kerros on

¹ Kiiras, 1988

jaettu seitsemään 140 m2 työkohteeseen. Muottikaluston kier-
toaika on kaikilla muoteilla kolme vrk. Pystyrakenteiden
kaluston minimitarve on pilareilla 15 kpl ja seinillä 80 m2.
Laatan muottikalustoa tarvitaan vähintään 410 m2.

MALLIKOHTEN TEHTÄVIEN TAHDISTUS TYÖRYHMITÄIN
TYÖMENEKKINÄ RATU-30%
tahdistava kesto 56 h

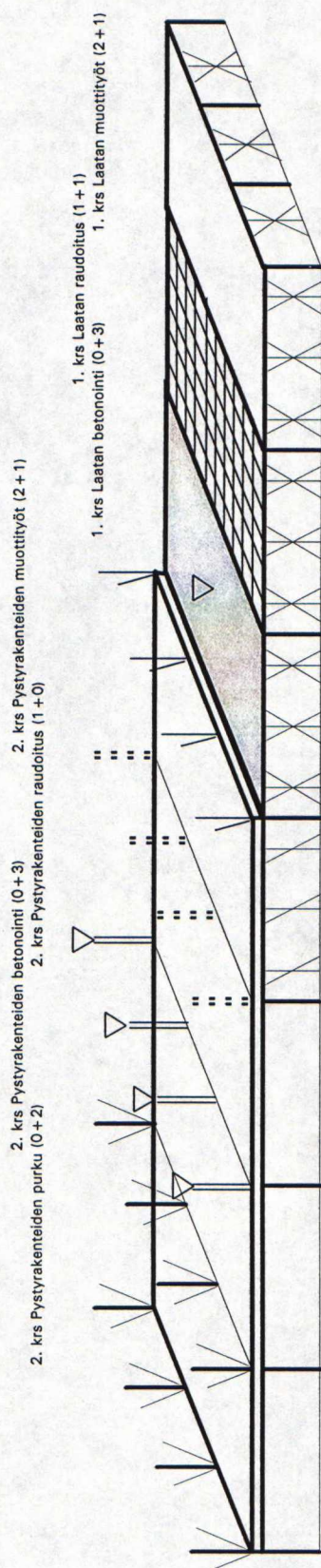
TEHTÄVÄ	määrä/krs	yksikkö	tth/yks	tth/krs	työryhmä	tunnit	kesto h/krs
Muottien esivalmistus - pilarit, kasettimuotti	159	m2	0,350	56	2 + 1	19	
MUOTTIRYHMÄ				153	2 + 1	51	56
Pilarien ja seinien muottityöt yht.	339	m2	0,385	63	2 + 1	21	21
- pilarit							
- mittaus	159	m2	0,105	17			
- siirto ja asennus	159	m2	0,210	33			
- seinät							
- mittaus	180	m2	0,014	3			
- siirto ja asennus	180	m2	0,056	10			
Laatan muottityöt yht.	954	m2	0,095	90	2 + 1	30	35
- mittaus	954	m2	0,018	17			
- siirto ja asennus	954	m2	0,077	73			
RAUDOITUSRYHMÄ				97	1 + 1	48	56
Pilarien ja seinien rauditus yht.	3400	kg	0,022	37	1 + 1	18	21
- pilarit							
- esivalmistus	1600	kg	0,009	15			
- siirto ja asennus	1600	kg	0,001	2			
- seinät							
- esivalmistus	1800	kg	0,005	9			
- siirto ja asennus	1800	kg	0,006	11			
Laatan rauditus yht.	14310	kg	0,004	60	1 + 1	30	35
- siirto ja asennus	14310	kg	0,004	60			
BETONOINTI- JA PURKURYHMÄ				123	0 + 2-3	53	56
Pilarien ja seinien betonointityöt yht.	55	m3	0,756	21	0 + 3	7	7
- pilarit							
- valmistelevat työt	19	m3	0,028	1			
- betonin vastaanotto	19	m3	0,098	2			
- betonointi	19	m3	0,238	5			
- lopettavat työt	19	m3	0,028	1			
- seinät							
- valmistelevat työt	36	m3	0,049	2			
- betonin vastaanotto	36	m3	0,098	4			
- betonointi	36	m3	0,189	7			
- lopettavat työt	36	m3	0,028	1			
Laatan betonointityöt yht.	954	m2	0,074	71	0 + 3	24	28
- valmistelevat työt	954	m2	0,004	4			
- betonin vastaanotto	954	m2	0,011	11			
- betonointi	954	m2	0,035	33			
- lopettavat työt	954	m2	0,003	3			
- hierto ja viimeistely	954	m2	0,021	20			
Pystyrakenteiden purku- ja puhdistustyöt y	339	m2	0,200	32	0 + 2	16	14
- pilarit							
- purku ja puhdistus	159	m2	0,189	30			
- seinät							
- purku ja puhdistus	180	m2	0,011	2			
Laatan puhdistustyöt yht.	954	m2	0,014	13	0 + 2	7	7
- puhdistus ja öljyäminen	954	m2	0,014	13			

tehtävä	työryhmä	tahdistus	kesto h/krs	kesto h/työk.
MUOTTITYÖT	2 + 1	56 h	56	8
- pystyrakenteet			21	3
- laatta			35	5
RAUDOITUSTYÖT	1 + 1	56 h	56	8
- pystyrakenteet			21	3
- laatta			35	5
BETONOINTI- JA PURKUTYÖT	0 + 2-3	56 h	56	8
- pystyrakenteet			21	3
- laatta			35	5

- Pilarimuottina lasikuituinen kasettimuotti, pulttikiinnitys.
- Seinämuottina suurmuotti.
- Laattamuottina pudotuspäällä ja siirtovaunulla varustettu pöytämuotti.
- Laatan raudoituksena kaistaraudoitteet.

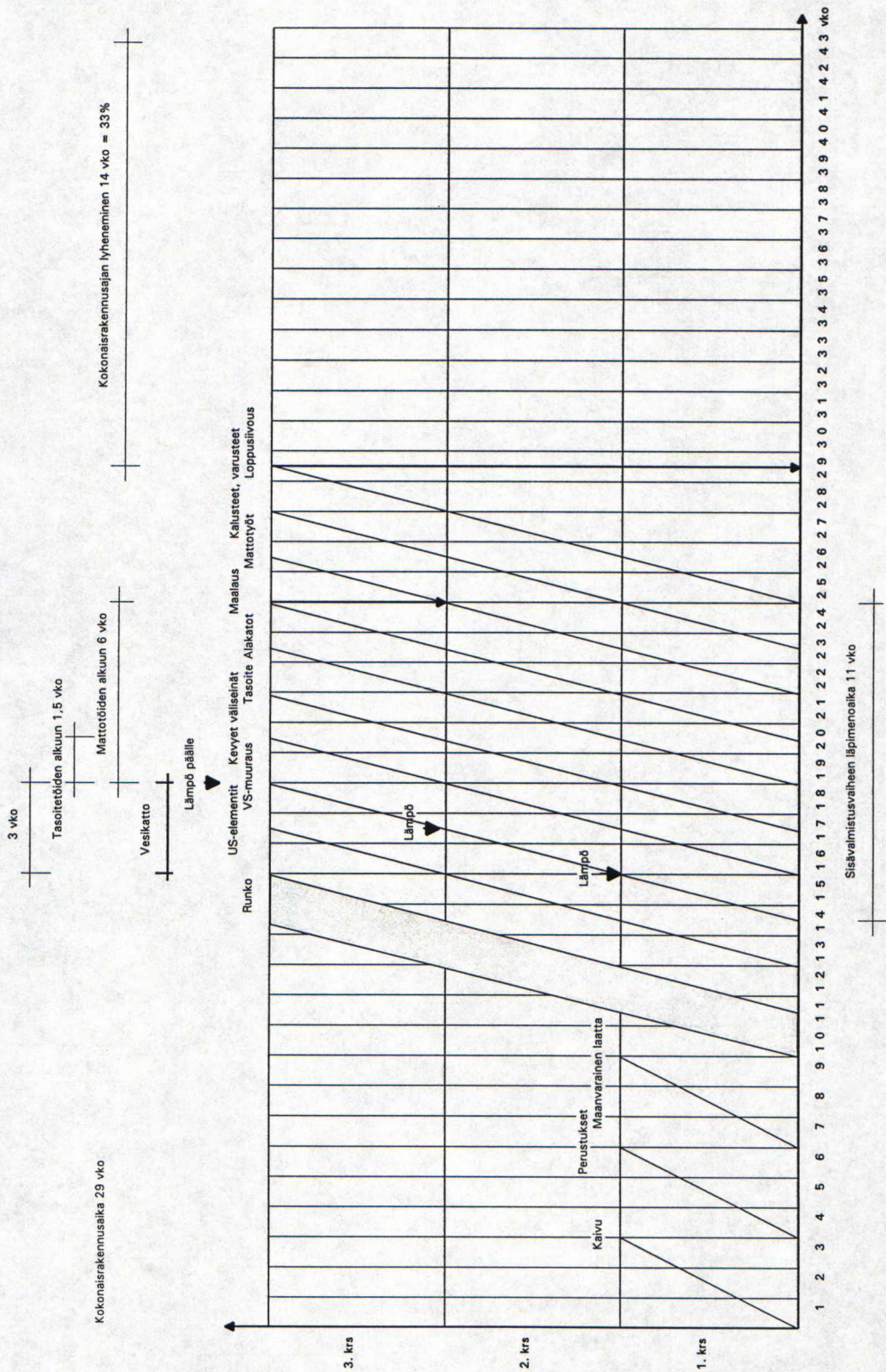
Kuva 42. Runkovaiheen 56 tunnin tuotantomallin tahdistettu
tehtäväluettelo.

TYÖNVAIHEKUVA RUGON TUOTANNOSTA 11. TYÖVUOROSSA



Kuva 44. 56 tunnin tuotantomallin mukainen työnvaihekuva rungon tuotannosta 11. työvuorossa.

MALLIKOITTEEN PAIKKA-AIKAKAAVIO
 RUNGON TAHDISTAVA KESTO 56 h / krs



Kuva 45. 56 tunnin tuotantomallin mukainen koko hankkeen paikka-aikakaavio. Sisävalmistusvaiheen läpimeno-aikaa lyhennetty 10 viikkoa.

Kuvassa 45 on esitetty koko hankkeen paikka-aikakaavio, jossa kokonaisrakennusaikaa on lyhennetty 30 % tavoitteen mukaisesti. Näin pienessä kohteessa pelkällä rungon tuotannon nopeuttamisella saavutetaan vain kahden viikon aikasäästö (suuruudeltaan alle viisi prosenttiyksikköä). Tavoitteen saavuttamiseksi on sisävalmistusvaiheen läpimenoaikaa lyhennetty tehtävien aloitusväliä pienentämällä. Aloitusväli on lyhennetty perustapauksen kolmesta viikosta puoleentoista viikkoon. Uusi sisävalmistustehtävä aloitetaan heti kun edellinen tehtävä on valmistunut kerroksessa. OPAS-teorian mukainen varamesta on tällöin vain puoli kerrosta eli noin 500 m². Sisävalmistusvaiheen läpimenoaika on 11 viikkoa. Kokonaisrakennusaika on nyt 29 viikkoa eli 14 viikkoa lyhyempi kuin perustapauksessa.

Lämpö kytketään päälle kerroksittain kolmen viikon kuluttua rungon valmistumisesta. Mattotyöt aloitetaan kerroksessa kuuden viikon kuluttua lämmön kytkemisestä. Rungon kuivumisaajan lyhentäminen 12 viikosta puoleen edellyttää normaalia nopeammin kuivuvan betonin käyttöä rungon rakenteissa. Betonin riittävän nopea kuivuminen varmistetaan lisäämällä massan sementtipitoisuutta ja käyttämällä lisäaineita.

Rungon tuotantonopeuden kasvattaminen lyhentää betonin kovettumisaikaa muottien purkulujuuden saavuttamiseksi. Sallitun kovettumisaajan lyheneminen johtuu tuotantotekniikan kerrosriippuvuudesta. Yläpuolisen kerroksen pystyrakenteiden muottityöt voidaan aloittaa vasta, kun alemman kerroksen laatan pinta on kovettunut työskentelylujuuteen. Tuotannon ensimmäisessä nopeuttamismallissa laatan sallittu kovettumisaika on lyhentynyt 24 tuntiin perustapauksen 50 tunnista. Kovettumisaajan lyheneminen edellyttää nopeasti kovettuvan betonin käyttöä laatan rakenteissa. Betonin kovettumisaikaa lyhennetään lisäämällä massan sementtipitoisuutta, jolloin lujuusluokka kasvaa. Nopeasti kovettuvina betonilaatuina käytetään massoja K50...K60. Betonin kovettumisaikaa voidaan lyhentää myös käyttämällä kovettumista edistäviä lisäaineita, joita ovat mm. erilaiset huokostimet.

Rungon tuotannon nopeuttamista tutkittiin edelleen mallilla, jossa tehtävien tahdistava kesto oli 48 tuntia / 1000 krs-m².

Tuotantomallissa käytetään yhtä muottityöryhmää, joka tekee sekä pystyrakenteiden että vaakarakenteiden muottityöt. Työryhmän koostumus on 2 RAM + 1 RM. Raudoitustyöt tehdään työryhmällä 1 RAM + 1 RM. Betonointi- ja muottien purkutyöt tehdään yhdellä aputyöryhmällä, jonka koostumus on 0 RAM + 3 RM. Kaikkien työryhmien kokoonpano ja tehtävien työsisältö pysyy vakiona työkohteesta toiseen.

Runkovaiheen tuotantonopeus on 6 tv / krs + 6 tv eli 170 m² / tv ja rungon kokonaiskesto kohteessa 24 työvuoroa. Kukin kerros on jaettu kuuteen työkohteeseen, joiden koko on noin 160 m². Muottikaluston kiertoaika on kaikilla muoteilla 3 vrk ja kaluston minimitarve noin 1 / 2 krs. Pilarimuotteja tarvitaan 16 kpl, seinämuotteja n. 90 m² ja laatan pöytämuotteja vähintään 480 m².

Betonin kovettumisaika purkulujuuden saavuttamiseksi on pystyrakenteilla 16 tuntia ja laatalle 25 tuntia. Työkohteen pystyrakenteet valetaan iltapäivällä ja muotit puretaan seuraavana aamuna. Laatan valu tapahtuu keskipäivällä ja muotit puretaan vuorokauden kuluttua valusta. Betonin lyhyet kovettumisajat edellyttävät nopeasti kovettuvan betonin käyttöä rungon rakenteissa.

Muotti- ja raudoitustyöt on rytmitetty siten, että aamupäivällä tehdään pystyrakenteiden töitä ja iltapäivällä laatan töitä.

Tuotantomallin tahdistettu tehtäväluettelo on esitetty kuvassa 46 ja runkovaiheen paikka-aikakaaviot kuvassa 47.

MALLIKOHTEN TEHTÄVIEN TAHDISTUS TYÖRYHMITÄIN
TYÖMENEKINÄ RATU-30%

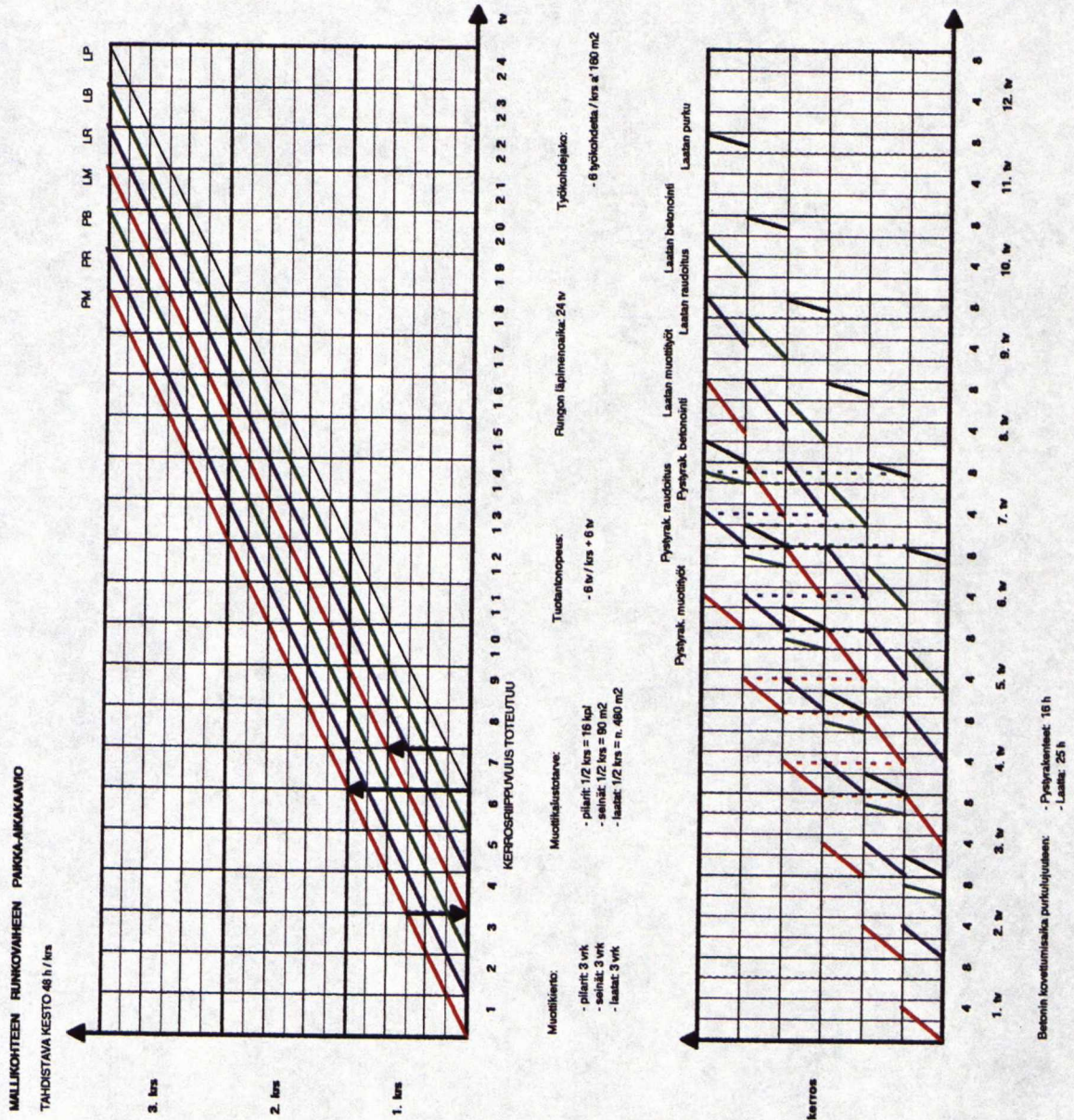
tahdistava kesto 48 h

TEHTÄVÄ	määrä/krs	yksikkö	tth/yks	tth/krs	työryhmä	tunnit	kesto h/krs
Muottien esivalmistus - pilarit, kasettimuotti	159	m2	0,350	56	2 + 1	19	
MUOTTIRYHMÄ				153	2 + 1	51	48
Pilarien ja seinien muottityöt yht.	339	m2	0,385	63	2 + 1	21	18
- pilarit							
- mittaus	159	m2	0,105	17			
- siirto ja asennus	159	m2	0,210	33			
- seinät							
- mittaus	180	m2	0,014	3			
- siirto ja asennus	180	m2	0,056	10			
Laatan muottityöt yht.	954	m2	0,095	90	2 + 1	30	30
- mittaus	954	m2	0,018	17			
- siirto ja asennus	954	m2	0,077	73			
RAUDOITUSRYHMÄ				97	1 + 1	48	48
Pilarien ja seinien rauditus yht.	3400	kg	0,022	37	1 + 1	18	18
- pilarit							
- esivalmistus	1600	kg	0,009	15			
- siirto ja asennus	1600	kg	0,001	2			
- seinät							
- esivalmistus	1800	kg	0,005	9			
- siirto ja asennus	1800	kg	0,006	11			
Laatan rauditus yht.	14310	kg	0,004	60	1 + 1	30	30
- siirto ja asennus	14310	kg	0,004	60			
BETONINTI- JA PURKURYHMÄ				123	0 + 3	41	48
Pilarien ja seinien betonointityöt yht.	55	m3	0,756	21	0 + 3	7	6
- pilarit							
- valmistelevat työt	19	m3	0,028	1			
- betonin vastaanotto	19	m3	0,098	2			
- betonointi	19	m3	0,238	5			
- lopettavat työt	19	m3	0,028	1			
- seinät							
- valmistelevat työt	36	m3	0,049	2			
- betonin vastaanotto	36	m3	0,098	4			
- betonointi	36	m3	0,189	7			
- lopettavat työt	36	m3	0,028	1			
Laatan betonointityöt yht.	954	m2	0,074	71	0 + 3	24	24
- valmistelevat työt	954	m2	0,004	4			
- betonin vastaanotto	954	m2	0,011	11			
- betonointi	954	m2	0,035	33			
- lopettavat työt	954	m2	0,003	3			
- hierto ja viimeistely	954	m2	0,021	20			
Pystyrakenteiden purku- ja puhdistustyöt yht.	339	m2	0,200	32	0 + 3	11	12
- pilarit							
- purku ja puhdistus	159	m2	0,189	30			
- seinät							
- purku ja puhdistus	180	m2	0,011	2			
Laatan puhdistustyöt yht.	954	m2	0,014	13	0 + 3	4	6
- puhdistus ja öljyäminen	954	m2	0,014	13			

tehtävä	työryhmä	tahdistus	kesto h/krs	kesto h/työk.
MUOTTITYÖT	2 + 1	48 h	48	8
- pystyrakenteet			18	3
- laatta			30	5
RAUDOITUSTYÖT	1 + 1	48 h	48	8
- pystyrakenteet			18	3
- laatta			30	5
BETONINTI- JA PURKUTYÖT	0 + 3	48 h	48	8
- pystyrakenteet			18	3
- laatta			30	5

- Pilarimuottina lasikuituinen kasettimuotti, pulttikiinnitys.
- Seinämuottina suurmuoti.
- Laattamuottina pudotuspäällä ja siirtovaunulla varustettu pöytämuotti.
- Laatan raudoituksena kaistaraudoitteet.

Kuva 46. 48 tunnin tuotantomallin tahdistettu tehtäväluettel-
lo.



Kuva 47. 48 tunnin tuotantomallin paikka-aikakaavio.

5.4. Erittäin nopean tuotannon mallit

Seuraavassa nopeutusmallissa rungon tahdistava kesto oli 40 tuntia. Tuotantomallissa käytetään yhtä muottityöryhmää, joka tekee sekä pystyrakenteiden että vaakarakenteiden muottityöt. Työryhmän koostumus on 2 RAM + 2 RM. Raudoitustyöt tehdään työryhmällä 2-1 RAM + 1 RM. Raudoitusryhmän kokoonpano vaihtelee siten, että pystyrakenteiden raudoitustöissä työryhmään kuuluu kaksi ja laatan töissä kolme työntekijää. Betonointi- ja muottien purkutyöt tehdään yhdellä aputyöryhmällä, jonka koostumus on 0 RAM + 3 RM (kuva 48).

Runkovaiheen tuotantonopeus on 5 tv / krs + 5 tv eli 200 m² / tv ja rungon kokonaiskesto kohteessa 20 työvuorua. Kukin kerros on jaettu viiteen työkohteeseen, joiden koko on noin 190 m². Muottikaluston kiertoaika on pystyrakenteiden muotteilla 2 vrk ja laatan muotteilla 3 vrk. Pystyrakenteiden kaluston minimitarve noin 2 / 5 krs. Pilarimuotteja tarvitaan 13 kpl, seinämuotteja n. 80 m². Laatan muottikaluston minimitarve on 3 / 5 krs. Laatan pöytämuotteja tarvitaan vähintään 580 m² (kuva 49).

Betonin kovettumisaika purkulujuuden saavuttamiseksi on pystyrakenteilla 19 tuntia ja laatalle 46 tuntia. Työkohteen pystyrakenteet valetaan keskipäivällä ja muotit puretaan seuraavana aamuna. Laatan valu tapahtuu iltapäivällä ja muotit puretaan noin kahden vuorokauden kuluttua valusta. Betonin kovettumisajat eivät edellytä nopeasti kovettuvan betonin käyttöä rungon rakenteissa.

Muottityöt on rytmitetty siten, että aamupäivällä tehdään pystyrakenteiden töitä ja iltapäivällä laatan töitä. Raudoitustöiden rytmitys on päinvastainen. Betonointityöt tehdään yhtäjaksoisesti iltapäivällä. Muottien purku tapahtuu aamupäivällä.

MALLIKOITEEN TEHTÄVIEN TAHDISTUS TYÖRYHMITÄIN
TYÖMENEKKINÄ RATU-30%

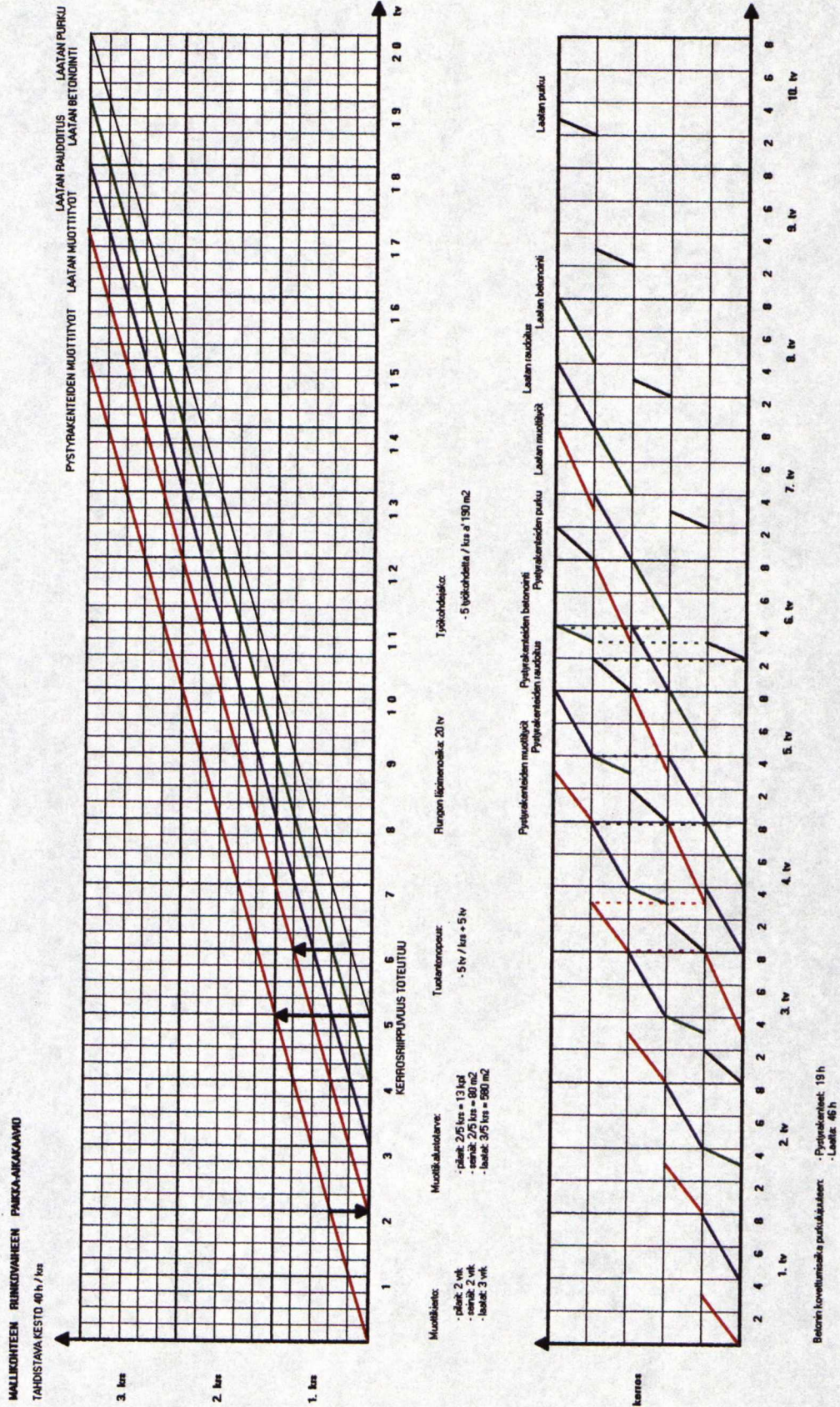
tahdistava kesto 40 h

TEHTÄVÄ	määrä/krs	yksikkö	tth/yks	tth/krs	työryhmä	tunnit	kesto h/krs
Muottien esivalmistus - pilarit, kasettimuotti	159	m2	0,350	56	2 + 1	19	
MUOTTIRYHMÄ				153	2 + 2	38	40
Pilarien ja seinien muotitttyöt yht.	339	m2	0,385	63	2 + 2	16	15
- pilarit							
- mittaus	159	m2	0,105	17			
- siirto ja asennus	159	m2	0,210	33			
- seinät							
- mittaus	180	m2	0,014	3			
- siirto ja asennus	180	m2	0,056	10			
Laatan muotitttyöt yht.	954	m2	0,095	90	2 + 2	23	25
- mittaus	954	m2	0,018	17			
- siirto ja asennus	954	m2	0,077	73			
RAUDOITUSRYHMÄ				97	2-1 + 1	38	40
Pilarien ja seinien raudoitus yht.	3400	kg	0,022	37	1 + 1	18	20
- pilarit							
- esivalmistus	1600	kg	0,009	15			
- siirto ja asennus	1600	kg	0,001	2			
- seinät							
- esivalmistus	1800	kg	0,005	9			
- siirto ja asennus	1800	kg	0,006	11			
Laatan raudoitus yht.	14310	kg	0,004	60	2 + 1	20	20
- siirto ja asennus	14310	kg	0,004	60			
BETONOINTI- JA PURKURYHMÄ				123	0 + 3	41	40
Pilarien ja seinien betonointityöt yht.	55	m3	0,756	21	0 + 3	7	5
- pilarit							
- valmistelevat työt	19	m3	0,028	1			
- betonin vastaanotto	19	m3	0,098	2			
- betonointi	19	m3	0,238	5			
- lopettavat työt	19	m3	0,028	1			
- seinät							
- valmistelevat työt	36	m3	0,049	2			
- betonin vastaanotto	36	m3	0,098	4			
- betonointi	36	m3	0,189	7			
- lopettavat työt	36	m3	0,028	1			
Laatan betonointityöt yht.	954	m2	0,074	71	0 + 3	24	20
- valmistelevat työt	954	m2	0,004	4			
- betonin vastaanotto	954	m2	0,011	11			
- betonointi	954	m2	0,035	33			
- lopettavat työt	954	m2	0,003	3			
- hieto ja viimeistely	954	m2	0,021	20			
Pystyrakenteiden purku- ja puhdistustyöt yht.	339	m2	0,200	32	0 + 3	11	10
- pilarit							
- purku ja puhdistus	159	m2	0,189	30			
- seinät							
- purku ja puhdistus	180	m2	0,011	2			
Laatan puhdistustyöt yht.	954	m2	0,014	13	0 + 3	4	5
- puhdistus ja öljyäminen	954	m2	0,014	13			

tehtävä	työryhmä	tahdistus	kesto h/krs	kesto h/työk.
MUOTTITYÖT	2 + 2	40 h	40	8
- pystyrakenteet			15	3
- laatta			25	5
RAUDOITUSTYÖT	2-1 + 1	40 h	40	8
- pystyrakenteet			20	4
- laatta			20	4
BETONOINTI- JA PURKUTYÖT	0 + 3	40 h	40	8
- pystyrakenteet			15	3
- laatta			25	5

- Pilarimuottina lasikuituinen kasettimuotti, pulttikiinnitys.
- Seinämuottina suumuotti.
- Laattamuottina pudotuspäällä ja siirtovaunulla varustettu pöytämuotti.
- Laatan raudoituksena kaistaraudoitteet.

Kuva 48. 40 tunnin tuotantomallin tahdistettu tehtäväluette-
lo.



Kuva 49. 40 tunnin tuotantomallin paikka-aikakaavio.

Toinen erittäin nopean tuotannon malli perustuu 32 tunnin tahdistavaan keston. Tuotantomallissa käytetään kahta muottityöryhmää, joista toinen tekee pystyrakenteiden ja toinen vaakarakenteiden muottityöt. Molempien muottityöryhmien koostumus on 2 RAM + 1 RM. Muottiryhmät hoitavat myös muottien purku- ja puhdistustyöt. Raudoitustyöt tehdään työryhmällä 2 RAM + 1-2 RM. Pystyrakenteiden rauditusryhmä koostuu kolmesta ja laatan neljästä työntekijästä. Betonointityöt tehdään yhdellä aputyöryhmällä, jonka koostumus on 0 RAM + 3-4 RM. Pystyrakenteiden betonointiryhmä sisältää kolme ja laatan betonointiryhmä neljä työntekijää.

Runkovaiheen tuotantonopeus on 4 tv / krs + 4 tv eli 250 m² / tv ja rungon kokonaiskesto kohteessa 16 työvuorota. Kukin kerros on jaettu neljään työkohteeseen, joiden koko on noin 240 m². Muottikaluston kiertoaika on kaikilla muoteilla 2 vrk ja kaluston minimitarve noin 1 / 2 krs. Pilarimuotteja tarvitaan 16 kpl, seinämuotteja n. 90 m² ja laatan pöytämuotteja vähintään 480 m².

Betonin kovettumisaika purkulujuuden saavuttamiseksi on pystyrakenteilla 19 tuntia ja laatalle 16 tuntia. Työkohteen pystyrakenteet valetaan aamupäivällä ja muotit puretaan seuraavana aamuna. Laatan valu tapahtuu iltapäivällä ja muotit puretaan seuraavana aamuna. Betonin lyhyet kovettumisajat edellyttävät nopeasti kovettuvan betonin käyttöä rungon rakenteissa.

Muottiryhmien työt etenevät omina kokonaisuuksinaan työkohteesta toiseen. Rauditusryhmän työt eivät ole jatkuvia, joten rauditus toteutetaan aliurakkana.

32 tunnin tuotantomallin tahdistettu tehtäväluettelo on esitetty kuvassa 50 ja runkovaiheen paikka-aikakaaviot kuvassa 51.

MALLIKOHTEN TEHTÄVIEN TAHDISTUS TYÖRYHMITÄIN
TYÖMENEKKINÄ RATU-30%

tahdistava kesto 32 h

TEHTÄVÄ	määrä/krs	yksikkö	tth/yks	tth/krs	työryhmä	tunnit	kesto h/krs
Muottien esivalmistus							
- pilarit, kasettimuotti	159	m2	0,350	56	2 + 1	19	
PYSTYRAKENTEIDEN MUOTTIRYHMÄ				95	2 + 1	32	32
Pilarien ja seinien muottityöt yht.	339	m2	0,585	95	2 + 1	32	32
- pilarit							
- mittaus	159	m2	0,105	17			
- siirto ja asennus	159	m2	0,210	33			
- purku ja puhdistus	159	m2	0,189	30			
- seinät							
- mittaus	180	m2	0,014	3			
- siirto ja asennus	180	m2	0,056	10			
- purku ja puhdistus	180	m2	0,011	2			
LAATAN MUOTTIRYHMÄ				104	2 + 1	35	32
Laatan muottityöt yht.	954	m2	0,109	104	2 + 1	35	32
- mittaus	954	m2	0,018	17			
- siirto ja asennus	954	m2	0,077	73			
- puhdistus ja öljyminen	954	m2	0,014	13			
RAUDOITUSRYHMÄ				73	2 + 1-2	24	18
Pilarien ja seinien raudoitus yht.	3400	kg	0,008	13	2 + 1	4	4
- pilarit							
- siirto ja asennus	1600	kg	0,001	2			
- seinät							
- siirto ja asennus	1800	kg	0,006	11			
Laatan raudoitus yht.	14310	kg	0,004	60	2 + 2	15	14
- siirto ja asennus	14310	kg	0,004	60			
BETONOINTIRYHMÄ				91	0 + 3-4	25	24
Pilarien ja seinien betonointityöt yht.	55	m3	0,756	21	0 + 3	7	8
- pilarit							
- valmistelevat työt	19	m3	0,028	1			
- betonin vastaanotto	19	m3	0,098	2			
- betonointi	19	m3	0,238	5			
- lopettavat työt	19	m3	0,028	1			
- seinät							
- valmistelevat työt	36	m3	0,049	2			
- betonin vastaanotto	36	m3	0,098	4			
- betonointi	36	m3	0,189	7			
- lopettavat työt	36	m3	0,028	1			
Laatan betonointityöt yht.	954	m2	0,074	71	0 + 4	18	16
- valmistelevat työt	954	m2	0,004	4			
- betonin vastaanotto	954	m2	0,011	11			
- betonointi	954	m2	0,035	33			
- lopettavat työt	954	m2	0,003	3			
- hieto ja viimeistely	954	m2	0,021	20			

tehtävä	työryhmä	tahdistus	kesto h/krs	kesto h/työk.
PYSTYRAKENTEIDEN MUOTTITYÖT	2 + 1	32 h	32	8
LAATAN MUOTTITYÖT	2 + 1	32 h	32	8
RAUDOITUSTYÖT	2 + 1-2	32 h	18	4
- pystyrakenteet			4	1
- laatta			14	3
BETONOINTITYÖT	0 + 3-4	32 h	24	6
- pystyrakenteet			8	2
- laatta			16	4

- Pilarimuottina lasikuituinen kasettimuotti, pulttikiinnitys.
- Seinämuottina suurmuotti.
- Laattamuottina pudotuspäällä ja siirtovaunulla varustettu pöytämuotti.
- Laatan raudoituksena kaistarautoitteet.

Kuva 50. 32 tunnin tuotantomallin tahdistettu tehtäväluette-
lo.

5.5. Äärimmäisen nopean tuotannon mallit

Tutkimuksessa luotiin kaksi äärimmäisen nopean tuotannon mallia, joiden avulla pyrittiin saavuttamaan paikallavaletun rungon tuotantonopeuden teoreettinen maksimi. Kehitetyt mallit eivät ole sellaisenaan vielä sovellettavissa käytäntöön, mutta ovat toteutettavissa uuden tuotantotekniikan avulla.

Puhtaan paikallavalutuotannon nopeimmassa mallissa käytettiin 24 tunnin tahdistavaa kestoa. Tuotantomalli edellyttää monitoimityökunnan käyttöä pystyrakenteiden tuotannossa. Rungon suuri tuotantonopeus ja paikallavalun tuotantotekniikka edellyttävät pystyrakenteiden tehtävien yhdistämistä yhdeksi useita työvaiheita sisältäväksi suurtehtäväksi. Pystyrakenteiden töissä käytetään monitaitoista 3 RAM + 2 RM työryhmää. Laatan muottitöissä käytetään yhtä muottityöryhmää, jonka koostumus on 2 RAM + 2 RM. Laatan raudoitustyöt tehdään työryhmällä 1 RAM + 2 RM ja betonointityöt aputyöryhmällä 0 RAM + 3 RM. Kaikkien työryhmien kokoonpano ja tehtävien työsisältö pysyy vakiona työkohteesta toiseen (kuva 52).

Runkovaiheen tuotantonopeus on 3 tv / krs + 3 tv eli 330 m² / tv ja rungon kokonaiskesto kohteessa 12 työvuoroa. Kukin kerros on jaettu kuuteen työkohteeseen, joiden koko on noin 160 m². Muottikaluston kiertoaika on pystyrakenteiden muotteilla 1 vrk ja kaluston minimitarve noin 1 / 3 krs. Pilari-muotteja tarvitaan 11 kpl ja seinämuotteja n. 60 m². Laatan muottikaluston kiertoaika on 2 vrk ja kaluston minimitarve noin 2 / 3 krs eli 640 m² (kuva 53).

Betonin kovettumisaika purkulujuuden saavuttamiseksi on sekä pystyrakenteilla että laatalle 15 tuntia. Työkohteen pystyrakenteet valetaan iltapäivällä ja muotit puretaan seuraavana aamuna. Laatan valu kestää koko päivän ja muotit puretaan seuraavana aamuna. Betonin lyhyet kovettumisajat edellyttävät nopeasti kovettuvan betonin käyttöä rungon rakenteissa.

MALLIKOHTEN TEHTÄVIEN TAHDISTUS TYÖRYHMITÄIN
TYÖMENEKKINÄ RATU-30%

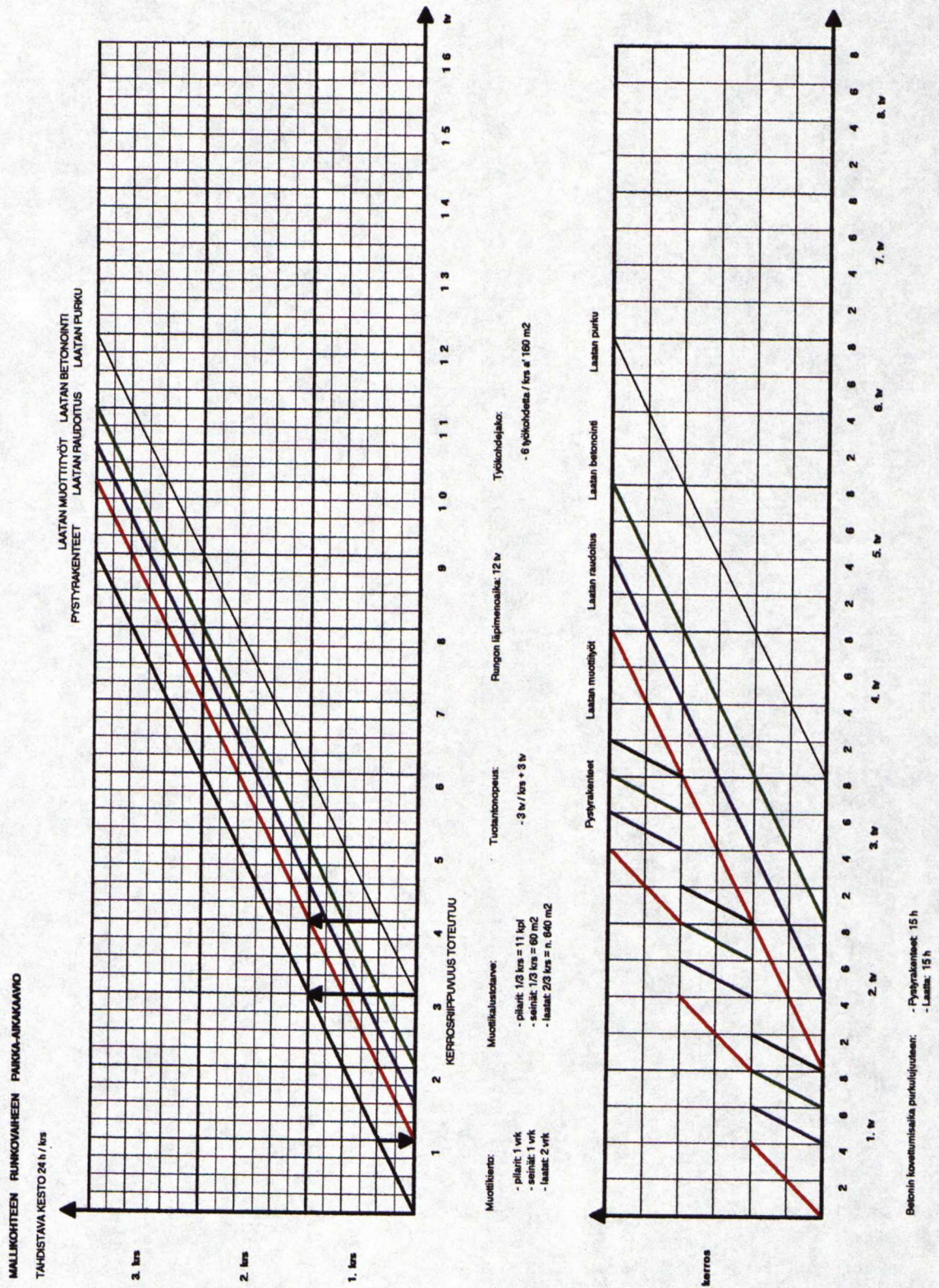
tahdistava kesto 24 h

TEHTÄVÄ	määrä/krs	yksikkö	tth/yks	tth/krs	työryhmä	tunnit	kesto h/krs
Muottien esivalmistus - pilarit, kasettimuotti	159	m2	0,350	56	2 + 1	19	
PILARI- JA SEINÄRYHMÄ				128	3 + 2	26	24
Muottityöt yht. - pilarit	339	m2	0,585	95	3 + 2	19	18
- mittaus	159	m2	0,105	17			
- siirto ja asennus	159	m2	0,210	33			
- purku ja puhdistus	159	m2	0,189	30			
- seinät							
- mittaus	180	m2	0,014	3			
- siirto ja asennus	180	m2	0,056	10			
- purku ja puhdistus	180	m2	0,011	2			
Raudoitus yht. - pilarit	3400	kg	0,008	13	2 + 0	7	6
- siirto ja asennus	1600	kg	0,001	2			
- seinät							
- siirto ja asennus	1800	kg	0,006	11			
Betonointityöt yht. - pilarit	55	m3	0,756	21	1 + 2	7	6
- valmistelevat työt	19	m3	0,028	1			
- betonin vastaanotto	19	m3	0,098	2			
- betonointi	19	m3	0,238	5			
- lopettavat työt	19	m3	0,028	1			
- seinät							
- valmistelevat työt	36	m3	0,049	2			
- betonin vastaanotto	36	m3	0,098	4			
- betonointi	36	m3	0,189	7			
- lopettavat työt	36	m3	0,028	1			
LAATAN MUOTTIRYHMÄ				104	2 + 2	26	24
Muottityöt yht. - mittaus	954	m2	0,109	104	2 + 2	26	24
- siirto ja asennus	954	m2	0,018	17			
- puhdistus ja öljyäminen	954	m2	0,077	73			
- lopettavat työt	954	m2	0,014	13			
LAATAN RAUDOITUSRYHMÄ				60	1 + 2	20	24
Raudoitus yht. - siirto ja asennus	14310	kg	0,004	60	1 + 2	20	24
	14310	kg	0,004	60			
LAATAN BETONOINTIRYHMÄ				71	0 + 3	24	24
Betonointityöt yht. - valmistelevat työt	954	m2	0,074	71	0 + 3	24	24
- betonin vastaanotto	954	m2	0,004	4			
- betonointi	954	m2	0,011	11			
- lopettavat työt	954	m2	0,035	33			
- hiehto ja viimeistely	954	m2	0,003	3			
	954	m2	0,021	20			

tehtävä	työryhmä	tahdistus	kesto h/krs	kesto h/työk.
PYSTYRAKENTEET	3 + 2	24 h	24	4
- muottityöt			18	2
- raudoitus			6	1
- betonointi			6	1
LAATAN MUOTTITYÖT	2 + 2	24 h	24	4
LAATAN RAUDOITUSTYÖT	1 + 2	24 h	24	4
LAATAN BETONOINTITYÖT	0 + 3	24 h	24	4

- Pilarimuottina lasikuituinen kasettimuotti, pulttikiinnitys.
- Seinämuottina suuruotti.
- Laattamuottina pudotuspäällä ja siirtovaunulla varustettu pöytämuotti.
- Laatan raudoituksena kaistaraudoitteet.

Kuva 52. 24 tunnin tuotantomallin tahdistettu tehtäväluette-
lo.



Kuva 53. 24 tunnin tuotantomallin paikka-aikakaavio.

Suurin tuotantonopeus saavutettiin mallissa, jonka tahdistava kesto on 16 tuntia. Näin nopeaan tuotantoon ei voida päästä puhtaassa paikallavalussa, koska pystyrakenteet on tehtävä työkohteessa yhden työvuoron aikana ja laatan muotti- ja raudoitustyöt on aloitettava saman työvuoron kuluessa. Laatan betonointityöt tehdään työkohteessa toisen työvuoron aikana. Tuotantomalli edellyttää valmiiden elementtien käyttöä pystyrakenteissa.

Pystyrakenteiden työt tehdään yhdellä elementtityöryhmällä, jonka koostumus on 2 RAM + 1 RM. Laatan muottitöissä käytetään yhtä muottityöryhmää, jonka koostumus on 3 RAM + 3 RM. Laatan raudoitustyöt tehdään työryhmällä 2 RAM + 2 RM ja betonointityöt aputyöryhmällä 0 RAM + 4 RM. Kaikkien työryhmien kokoonpano ja tehtävien työsisältö pysyy vakiona työkohteesta toiseen.

Runkovaiheen tuotantonopeus on 2 tv / krs + 2 tv eli 500 m² / tv ja rungon kokonaiskesto kohteessa 8 työvuoroa. Kukin kerros on jaettu kuuteen työkohteeseen, joiden koko on noin 160 m². Laatan muottikaluston kiertoaika on 2 vrk ja kaluston minimitarve noin 5 / 6 krs eli 800 m².

Betonin kovettumisaika laatan purkulujuuden saavuttamiseksi on 15 tuntia. Kerroksen laatta valetaan kahdessa osassa. Laatan valu kestää koko päivän ja muotit puretaan seuraavana aamuna. Betonin lyhyt kovettumisaika edellyttää nopeasti kovettuvan betonin käyttöä laatan rakenteissa.

16 tunnin tuotantomallin tahdistettu tehtäväluettelo on esitetty kuvassa 54 ja runkovaiheen paikka-aikakaaviot kuvassa 55.

MALLIKOHTEN TEHTÄVIEN TAHDISTUS TYÖRYHMITÄIN
TYÖMENEKKINÄ RATU-30%

tahdistava kesto 16 h

TEHTÄVÄ	määrä/krs	yksikkö	tth/yks	tth/krs	työryhmä	tunnit	kesto h/krs
ELEMENTTIRYHMÄ				55	2 + 1	18	16
Pilariementtityöt yht.	32	kpl	1,015	32	2 + 1	11	10
- mittaus, pulttiasennus	32	kpl	0,140	4			
- asennus, pulttiasennus	32	kpl	0,525	17			
- juottaminen, pulttiasennus	32	kpl	0,350	11			
Seinäelementtityöt yht.	180	m2	0,126	23	2 + 1	8	6
- mittaus	180	m2	0,007	1			
- asennus	180	m2	0,070	13			
- juottaminen	180	m2	0,049	9			
LAATAN MUOTTIRYHMÄ				104	3 + 3	17	16
Muottityöt yht.	954	m2	0,109	104	3 + 3	17	16
- mittaus	954	m2	0,018	17			
- siirto ja asennus	954	m2	0,077	73			
- puhdistus ja öljyäminen	954	m2	0,014	13			
LAATAN RAUDOITUSRYHMÄ				60	2 + 2	15	16
Raudoitus yht.	14310	kg	0,004	60	2 + 2	15	16
- siirto ja asennus	14310	kg	0,004	60			
LAATAN BETONINTIRYHMÄ				71	0 + 4	18	16
Betonointityöt yht.	954	m2	0,074	71	0 + 4	18	16
- valmistelevat työt	954	m2	0,004	4			
- betonin vastaanotto	954	m2	0,011	11			
- betonointi	954	m2	0,035	33			
- lopettavat työt	954	m2	0,003	3			
- hieto ja viimeistely	954	m2	0,021	20			

tehtävä	työryhmä	tahdistus	kesto h/krs	kesto h/työk.
PYSTYRAKENTEIDEN TYÖT	2 + 1	16 h	16	2,5
LAATAN MUOTTITYÖT	3 + 3	16 h	16	2,5
LAATAN RAUDOITUSTYÖT	2 + 2	16 h	16	2,5
LAATAN BETONINTITYÖT	0 + 4	16 h	16	2,5

- Pilariementti, pulttiasennus.
- Seinäelementti, tönärituenta, juotosasennus.
- Laattamuottina pudotuspäällä ja siirtovaunulla varustettu pöytämuotti.
- Laatan raudoituksena kaistaraudoitteet.

Kuva 54. 16 tunnin tuotantomallin tahdistettu tehtäväluette-
lo.

Tuotantomallia voidaan soveltaa myös mastopilareiden ja
liukuvalutekniikan käyttöön.

5.6. Tuotannon nopeuttamismallien tunnuslukuja

Kaikki rungon tuotantomallit perustuvat toistuvan tuotannon malliin¹, jossa yhden työkohteen tuotanto toistuu samanlaisena koko hankkeen läpi. Työryhmien kulku ja tehtävien työsisältö toistuu samanlaisena kaikissa työkohteissa. Malleja voidaan soveltaa kaikenkokoisille tuotantotekniikaltaan samanlaisille rakennuksille.

Rungon tuotannon nopeuttamismallien tuotantonopeus vaihteli 10 tv / krs ja 2 tv / krs välillä. Runkovaiheen kokonaiskesto lyheni 40 työvuorosta 8 työvuoroon. Työvoimaresurssitarve kasvoi perustapauksen 6-7 työntekijästä 17 työntekijään tuotannon nopeutumisen myötä. Laatan muottikaluston minimi-tarve vaihteli n. 400 m²:sta 800 m²:iin. Laatan valualueen koko vaihteli n. 150 m² ja n. 500 m² välillä. Betonin kovettumisaika purkulujuuden saavuttamiseksi oli lyhimmillään 15 ja pisimmillään 50 tuntia. Tuotannon nopeuttamismallien tunnuslukuja on esitetty kuvassa 56.

Rungon tehtävien tahdistava kesto tv / krs	Rungon kokonais-kesto tv	Kokonais-rakennusaika tv	Työvoimaresurssit lkm	Laatan muottikaluston tarve m ²	Laatan valualue m ²	Betonin kovettumisaika	
						Pystyrak. h	Laatta h
10	40	213	6 - 7	580	190	22	50
7	28	143	7 - 8	410	140	20	24
6	24	139	8	480	160	16	25
5	20	135	9 - 10	580	190	19	46
4	16	131	10 - 11	480	240	19	15
3	12	127	15	640	320	15	15
2	8	123	17	800	480	-	15

Kuva 56. Rungon tuotannon nopeuttamisen tunnuslukuja.

¹ Toikkanen S., 1992

Mallien työvoimaresurssien käyttö tarkastettiin resurssilaskennan avulla. Rungon työkohdekohtainen resurssilaskenta on suoritettu perustapauksen ja kahden tuotannon nopeuttamismallin (tahdistava kesto 56 ja 40 h / krs) osalta toistuvan tuotantomallin avulla. Resurssien käytön tarkastelu osoittaa, että työryhmien koostumus säilyy vakiona ja resurssien käyttö tasaisena työvuoron aikana. Työryhmien liikkuminen työkohteesta toiseen tasaa resurssien käyttöä.

5.7. Tuotannon nopeuttamisen vaikutus kustannuksiin

Rungon tuotannon nopeuttaminen työnsuunnittelun avulla edellyttää nykyisiä betonilaatuja nopeammin kovettuvien ja kuivuvien betonien käyttöä. Tämä lisää rungon materiaalikustannuksia. Tuotannon nopeuttamisella saavutettava rakennusajan lyheneminen vaikuttaa hankkeen käyttö- ja yhteiskustannuksiin. Rungon tuotannon nopeuttaminen on kannattavaa vain jos rakennusajan lyhenemisestä aiheutuva kustannussäästö on suurempi kuin rungon materiaalikustannusten nousu.

Rakennushankkeen käyttö- ja yhteiskustannukset muodostuvat laajuussidonnaisista ja kohdekohtaisista kustannuksista. Laajuussidonnaiset kustannukset määräytyvät hankkeen koon ja kokonaistyömenekin perusteella. Kokonaistyömenekki kuvaa kohteen työmäärän hyvin. Se sisältää paitsi kohteen laajuuden, myös tuotantotekniikan ja kaikkien rakennusosien sekä suoritusten suhteellisten määrien vaikutukset.¹ Laajuussidonnaisien kustannusten osuus on noin 80-90 % paikallarakennetun liike- ja toimistorakennuksen käyttö- ja yhteiskustannuksista. Laajuussidonnaisia kustannuksia ei voida alentaa rakennusaikaa lyhentämällä.

Kohdekohtaiset kustannukset muodostuvat aikasidonnaisista kustannuksista sekä kohteen teknisiin ratkaisuihin ja materiaalien valintoihin liittyvistä kustannuksista. Kohdekohtaiset

¹ Poikonen, 1987, s.86

kustannukset vaihtelevat suuresti eri hankkeissa ja niiden aikasidonnaisia kustannuksia voidaan alentaa rakennusaikaa lyhentämällä. Aikasidonnaisten kustannusten osuus on keskimäärin vain noin 10-20 % paikallarakennetun liike- ja toimistorakennuksen käyttö- ja yhteiskustannuksista.¹

Rungon tuotannon nopeuttamisen kustannuksia tutkittiin mallikohteen avulla. Tuotantomallien kustannusten määrittämisessä käytettiin kuvan 57 mukaisia yksikköhintoja. Perustapauksessa ja 56 tunnin tahdistavan keston mallissa betonointi suoritettiin torninosturin avulla. Muissa tapauksissa betonointiin käytettiin erillistä pumppuautoa. Betonin nopeaa kovettumista vaativissa malleissa käytettiin korkealujuuksista K60 betonia normaalisti käytettävän K35 massan sijaan. Mallikohteen rungon tuotannon nopeuttamisen kustannuksia on esitetty kuvassa 57.

Rungon tuotantomalli	Tahdistava kesto h / krs	Runkovaiheen kokonaiskesto tv	Runkovaiheen kustannuksia			Mu + Bet + Betoni yhteensä mk	Kustannusero perustapaukseen			Betoni-laatu	
			muottikalusto mk	betonointi mk	betoni mk		mk	mk / brm2	%	pystyrak	laatta
10 tv/krs + 10 t	80	40	41 360	17 200	442 500	501 060	-	-	-	norm.	norm.
7 tv/krs + 7 tv	56	28	22 624	12 040	658 500	693 164	192 104	67	38	norm.	nopea
6 tv/krs + 6 tv	48	24	22 320	50 820	708 000	781 140	280 080	98	56	nopea	nopea
5 tv/krs + 5 tv	40	20	20 680	42 350	442 500	505 530	4 470	2	1	norm.	norm.
4 tv/krs + 4 tv	32	16	14 880	39 280	658 500	712 660	211 600	74	42	norm.	nopea
3 tv/krs + 3 tv	24	12	12 840	45 660	708 000	766 500	265 440	93	53	nopea	nopea
2 tv/krs + 2 tv	16	8	13 440	25 040	# 889740	928 220	427 160	149	85	(elem.)	nopea

Sisältää pystyrakenteiden elementtikustannukset 313 740 mk.

YKSIKKÖHINTOJA

MUOTTIKALUSTO	Vuokrahinta	Yksikkö
- Pilarit		
- lasikuituinen kasettimuotti	1,20	mk / m2 / pv
- Seinät		
- suurmotti	1,80	mk / m2 / pv
- Laatta		
- pöytämuotti siirtolineella	1,40	mk / m2 / pv
BETONINTIKALUSTO	Vuokrahinta	Yksikkö
- tärysauva	30,00	mk / pv
- tärypalkki	200,00	mk / pv
- hietokone	200,00	mk / pv
- betonipumppu	450,00	mk / h
BETONIMASSA	Yksikköhinta	Yksikkö
- normaali K 35 2-3 sVB	500,00	mk / m3
- nopea K 60 2-3 sVB	800,00	mk / m3
* muotinpurkulujuus pystyrakenteilla 20 h ja laatalle 48 h		
** muotinpurkulujuus pystyrakenteilla ja laatalle 15 h		

Kuva 57. Mallikohteen rungon tuotannon nopeuttamisen kustannuksia.

¹ Poikonen, 1987, s.86

Tuotannon nopeuttamisen lisäkustannusten vertailu osoittaa, että suurin kustannuksia lisäävä tekijä on betonin materiaalikustannuksen huomattava kasvu nopeasti kovettuvaan betoniin siirryttäessä. Muottikaluston kokonaiskustannukset ja betointiin käytettävän pumpun aiheuttamat lisäkustannukset ovat erittäin pieniä betonin materiaalikustannuksiin verrattuna. Paikallavalurungon tuotannon nopeuttamisen suunnittelussa on kiinnitettävä huomiota siihen, että tuotantomalli sallii normaalisti kovettuvan betonin käytön rungon rakenteissa. Hitaammin kovettuvan betonin käyttö edellyttää suurempaa muottikalustomäärää, mutta kaluston kokonaiskustannukset jäävät yleensä pienemmäksi kuin nopeasti kovettuvan betonin käytön aiheuttamat lisäkustannukset.

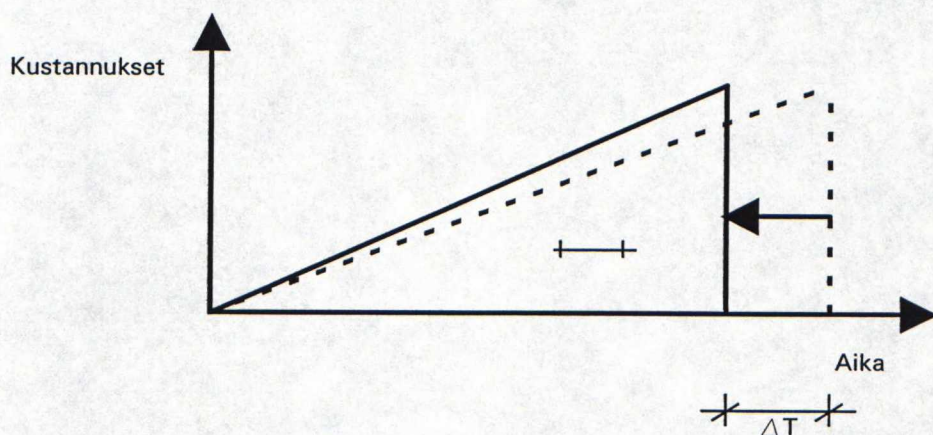
Sisävalmistusvaiheen läpimenoajan lyhentämisen edellyttämä betonin kuivumisajan lyhentäminen 12 viikosta 6 viikkoon vaatii normaalia nopeammin kuivuvan betonin käyttöä rungon rakenteissa. Kuivumisen nopeuttamisen edellyttämä sementin lisääminen ja lisäaineiden käyttö nostavat betonimassan hintaa. Materiaalikustannusten kasvu on samaa suuruusluokkaa kuin nopeasti kovettuvaa betonia käytettäessä.

Mallikohteen kokonaiskustannukset määritettiin rakennusosa-arviomenettelyllä TKK:n Rakentamistalouden laboratorion Talonrakennuksen kustannustieto -ohjelman avulla.¹ Rungon kustannukset määritettiin suunnitteluratkaisun mukaisesti ja muut rakennusosat vertailutasoon mukaan. Runko- ja vesikattorakenteiden kokonaiskustannukset olivat 2,180 milj. ja työmaan käyttö- ja yhteiskustannukset 2,943 milj.

Runkovaiheen nopeuttamisen kannattavuutta tutkittiin vertaamalla nopeuttamisesta aiheutuvia lisäkustannuksia lyhyemmän rakennusajan aiheuttaman työmaan käyttö- ja yhteiskustannusten aikasidonnoisen osan ja rakennusaikaisen koron pienenemiseen. Käyttö- ja yhteiskustannusten aikasidonnoisuusosuus oli 20 %. Laskennassa käytettiin 10 % rakennusaikaista korkoa.

¹ Haahtela & Kiiras, 1993

Rakennusajan lyhenemisen aiheuttama korkokustannusten pieneminen laskettiin kuvan 58 mukaisesti. Lyhyempi rakennusaika sitoo hankkeen rahoitusta lyhyemmän ajan ja korkokustannukset pienenevät.



Kuva 58. Rakennusajan pituuden vaikutus rahoituskustannuksiin.

Tuotannon nopeuttamisen lisäkustannuksia ja rakennusajan lyhenemisen aiheuttamia kustannussäästöjä on verrattu kuvassa 59. Kuvasta havaitaan, että runkovaiheen tuotannon nopeuttaminen on kannattavaa, kun käyttö- ja yhteiskustannusten aikasidonnaisuus ja rakennusaikainen korko huomioidaan hankkeen kokonaiskustannuksia määritettäessä. Rungon tuotannon nopeuttamisesta aiheutuvat lisäkustannukset jäävät selvästi kustannussäästöjä pienemmiksi. Taloudellisin nopeuttamisvaihtoehto on 40 tunnin tahdistavan keston tuotantomalli, joten sen soveltamista käytännön rakennustuotantoon kannattaa tutkia tarkemmin.

MALLIKOHTTEEN RUNGON TUOTANNON NOPEUTTAMISEN KUSTANNUKSIJA

PERUSTAPAU

- Kokonaisrakennusaika 43 vko
- Runkovaiheen kesto 8 vko
- Koko hankkeen B2 rakennustekniset työt yht. 6 390 000 mk
- Koko hankkeen B2 käyttö- ja yhteiskustannukset yht. 2 943 000 mk
- aikasidonnaiset kustannukset 20 % = 588 600 mk eli 2 738 mk / tv
- Hankkeen kokonaiskustannukset 15 288 000 mk
- Rakennusaikainen korko 10 %

Rungon tuotantomalli	Runkovaiheen kokonaiskesto tv	Kokonais- rakennusaika vko	Nopeuttamisen lisäkustannukset mk	Aikaisidonnaiset 8,9 kustannukset mk	Rakennusaikainen korko (10 %) mk	Kustannukset yhteensä mk	Kustannusero perustapaukseen mk yht	Kustannusero perustapaukseen mk / brm2	%
10 tv/krs + 10 tv	40	43	-	588 600	632 100	15 920 100	-	-	-
7 tv/krs + 7 tv	28	40	192 100	396 940	588 000	15 876 440	-43 660	-15	0
6 tv/krs + 6 tv	24	39	280 100	383 250	573 300	15 936 050	15 950	6	0
5 tv/krs + 5 tv	20	38	4 500	369 560	558 600	15 632 060	-288 040	-101	-2
4 tv/krs + 4 tv	16	37	211 600	355 870	543 900	15 810 770	-109 330	-38	-1
3 tv/krs + 3 tv	12	36	265 400	342 180	529 200	15 836 180	-83 920	-29	-1
2 tv/krs + 2 tv	8	35	427 200	328 490	514 500	15 969 590	49 490	17	0

Kuva 59. Mallikohteen rungon tuotannon nopeuttamisen kus-
tannusvertailu.

6. NOPEUTTAMISMALLIN TESTAUS ESIMERKKIKOhteissa

6.1. Esimerkkikohteiden tuotannonsuunnittelu

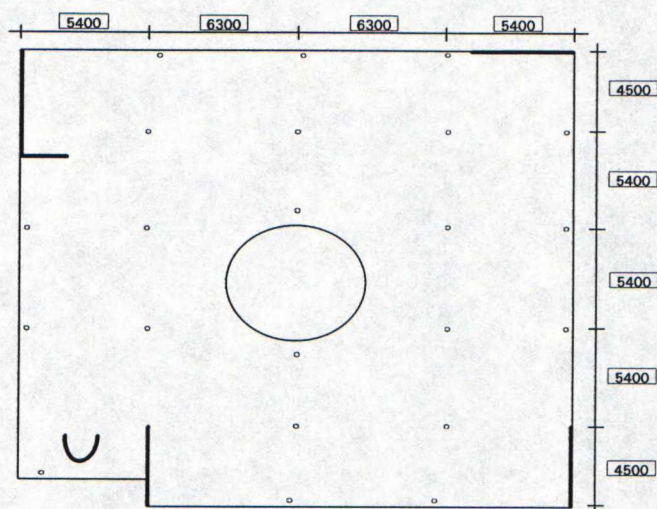
Rungon tuotannon nopeuttamismallia testattiin kolmessa testikohteessa. Kohteet ovat tyypillisiä pilari-laatta -runkoisia liike- ja toimistorakennuksia, joiden runko on suunniteltu toteutettavaksi paikalla valettuna. Testikohteet eroavat toisistaan huomattavasti kokonsa ja lohkojakonsa puolesta. Suurin kohde on laajuudeltaan noin 7500 brm² pienimmän ollessa alle 2000 brm².

Esimerkkikohteille laadittiin perinteisen paikallavalurungon tuotantonopeutta vastaava runkovaiheen aikataulu ja rungon tuotantoa nopeutettiin nopeuttamismallin mukaisesti. Suunnitelmat testattiin haastatteluiden avulla työmaahenkilöstön ja aikataulusuunnittelusta vastaavien henkilöiden kanssa. Sisävalmistusvaiheen suunnitelmat pidettiin alkuperäisenä.

Runkovaiheen työmenekit määritettiin RATU Aikataulukirja 1990:n perusteella. Kirjan mukaisia menekkejä pienennettiin noin 30 % vastaamaan paremmin tämänhetkistä tuotantoa. Tehtäville määrättiin minimityöryhmät RATU:n, yleisten tiedostojen tai muun kirjallisuuden perusteella. Tehtävät tahdistettiin työryhmän koostumusta tai tehtävän työsisältöä muuttamalla.

6.2. Leiras-toimisto

Esimerkkikohde Leiras-toimisto on Hartela Oy:n Turun tulosityksikön rakentama toimistorakennuksen laajennus. Kohde sijaitsee Leiras yhtymän Turun tuotantolaitosalueella. Uudisrakennus liittyi vanhaan toimistorakennukseen. Kohteen rakennustyöt aloitettiin lokakuussa 1993 ja rakennus luovutettiin kokonaisuudessaan huhtikuussa 1994. Hankkeen kokonaiskesto oli 24 viikkoa. Rakennus sisältää toimisto- kokous- ja aula-tiloja.



kerrosala: 640 m²
kerroskorkeus: 3,5 m

PILARIT:	(22 kpl / kerros)	LAATAT:	(640 m ² / kerros)	SEINÄT:	(100 m ² / kerros)
- koko: a = 300 ja 400*300 mm		- paksuus: h = 250 mm		- paksuus: b = 200 mm	
- pituus: l = 3300 mm		- rauditus: 15 kg / m ²		- rauditus: 10 kg / m ²	
- rauditus: 15 kg / m					

Kuva 60. Leiras-toimiston pohjapiirustus.

Kohteen laajuus on n. 7700 rm³ ja 1920 brm². Kohteessa on väestönsuojalla varustettu kellarikerros ja kolme keskenään samankokoista 640 m² kerrosta maanpinnan yläpuolella. Kohde toteutettiin yhtenä lohkona. Rakennuksen runkona on paikallavalettu pilari-laatta -runko, jonka jäykisteenä toimivat paikallavaletut teräsbetoniseinät sekä vanhaan rakennukseen liittyvät rakenteet. Rakennuksen julkisivut on tehty nauhaelementeistä. Kevyet väliseinät ovat muurattuja tai kipsilevyseiniä.

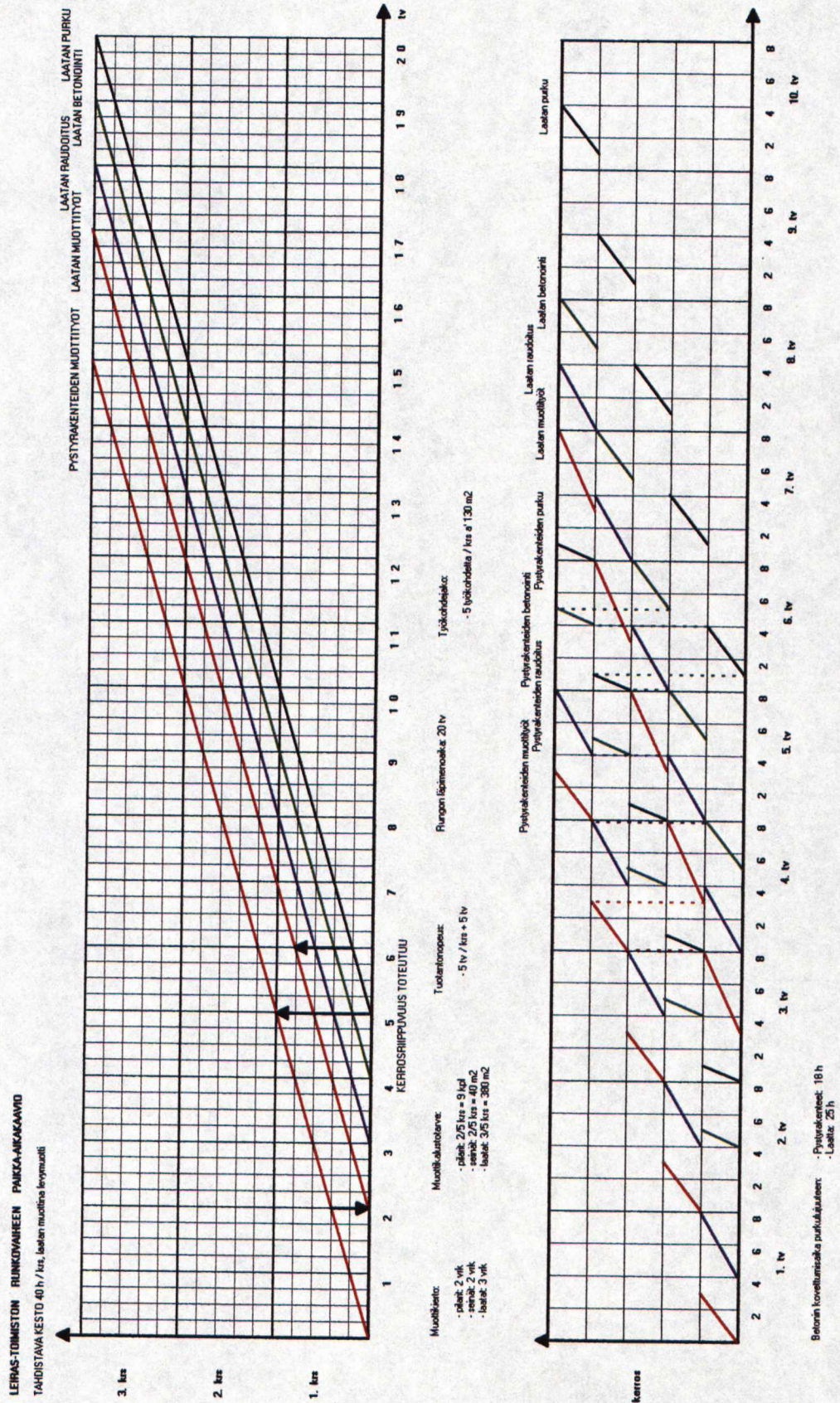
Pilareiden muottikalustona käytettiin lasikuituisia kasettimuotteja, jotka esivalmistettiin työmaalla vastaamaan kohteen suunnitelmia. Seinien muottikalustona käytettiin suurmuotteja. Laatan muottikalustoksi oli valittu levymuotti, minkä käyttö tunnettiin tarkoin aikaisemmista kohteista. Levymuotin käytön uskottiin olevan myös taloudellisempaa kuin pöytämuotin käytön. Kerrostason keskellä olevaa aukkoa ympäröivän reunamaisen palkin sekä porrashuoneen muotit tehtiin työmaalla esivalmistetuista vanerimuoteista. Pilareiden rauditus tehtiin työmaalla esivalmistetuista valmisraudoitteista ja

seinien sekä laatan raudoitus irtotangoista. Kohteen työn aikaiset nostot ja materiaalisiirrot sekä betonointi hoidettiin torninosturilla. Laatta valettiin suoraan valmiiseen pintaan, jolloin erillistä lattian pintabetonointia ei tarvittu.

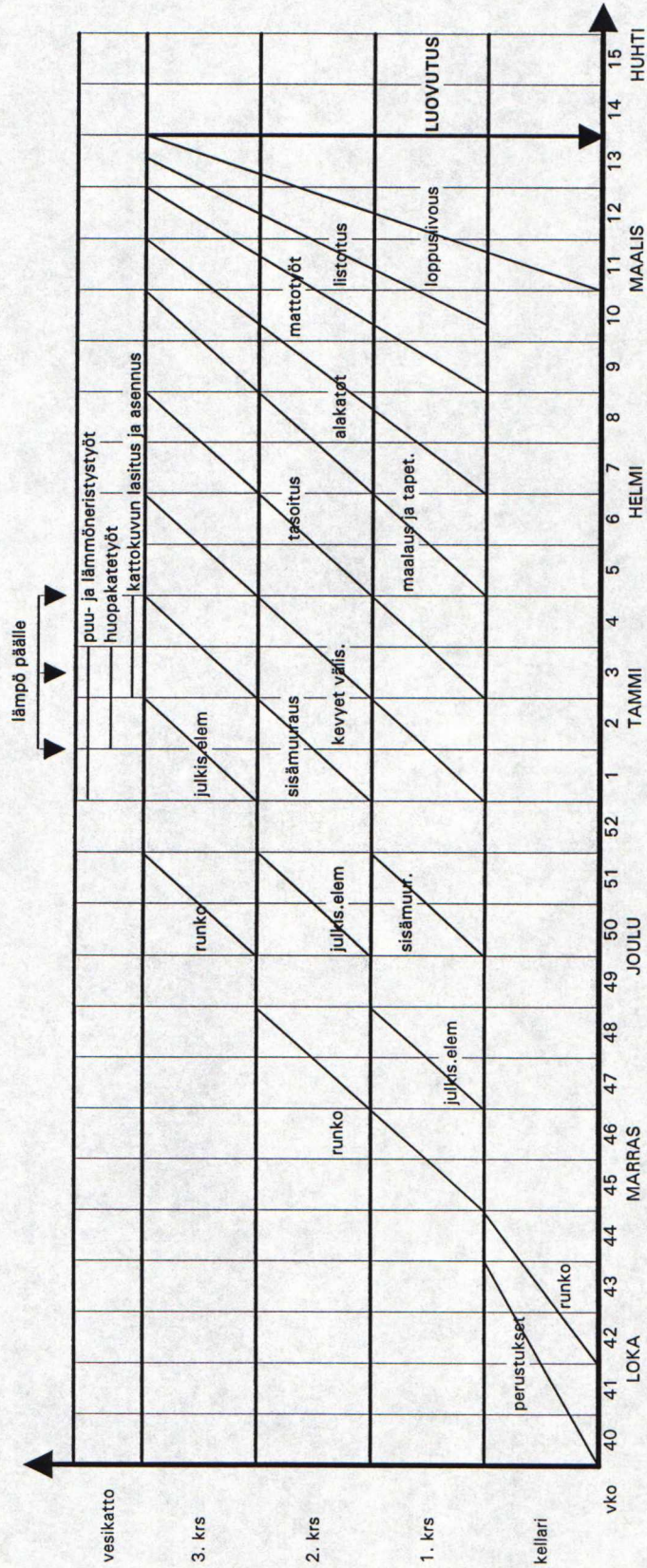
Kohteen runkovaiheen tuotantonopeus oli 5 tv / krs + 5 tv eli n. 130 m² / tv. Tehtävien tahdistavaksi kestoksi muodostui 40 h / krs rungon läpimenoajan ollessa 5 tv. Tahdistavana työvaiheena oli muottityö, jonka työryhmän kokoonpano oli 2 RAM + 1-2 RM. Toinen rakennusmies toimi sekä muotti- että raudoitustöissä, jolloin raudoitusryhmän kokoonpanoksi muodostui 1 RAM + 0-1 RM. Betonointi- ja muottien purkutytöt tehtiin työryhmällä 0 RAM + 3 RM. Kohteen kokonaisresurssit olivat 3 RAM + 5 RM.

Runkovaiheen tuotanto oli suunniteltu jo melko nopeaksi kokonaisrakennusajan kireydestä johtuen. Työmaalla toteutetun tuotannon mukaisesti kerrokset jaettiin laatan tuotannossa kolmeen n. 210 m² työkohteeseen. Pystyrakenteiden tuotanto oli jaettu kuuteen työkohteeseen. Näinollen laatan muottikalustoa tarvittiin n. 550 m², pilarimuotteja 6 kpl ja seinämuotteja n. 30 m². Betonin kovettumisaika purkulujuuden saavuttamiseksi oli pystyrakenteilla 15-20 tuntia. Laatan muotit oli suunniteltu purettavaksi kahden vuorokauden kuluttua valusta, mutta laatan osittaista aputuentaa käytettiin vielä viikon ajan levymuottien purun jälkeen.

Tuotannon nopeuttamisen tutkimisessa kerrokset jaettiin viiteen n. 130 m² työkohteeseen. Muottikaluston minimitarve oli pilareilla 9 kpl, seinillä 40 m² ja laatalle 380 m². Betonin kovettumisaika purkulujuuden saavuttamiseksi oli pystyrakenteilla 18 ja laatalle 25 tuntia. Runkovaiheen kokonaiskesto oli 20 tv ja kokonaisrakennusaika 26 viikkoa.



LEIRAS-TOIMISTON PAKKA-AIKAKAAVIO
RUNKOVAIHEEN TAHDISTAVA KESTO 40 h/hrs



Kuva 62. Leiras-toimiston pakka-aikakaavio.

Leiras-toimiston rungon nopeuttamista tutkittiin nopeimman 2 tv / krs + 2 tv tuotantomallin avulla. Rungon tuotantonopeudeksi muodostui 230 m² / tv. Tehtävien tahdistava kesto oli 16 h / krs ja rungon läpimenoaika 2 tv. Pystyrakenteet tehtiin nyt elementeistä ja laatan muottikalustona käytettiin siirtovaunulla ja pudotuspäällä varustettua pöytämuottia. Laatan raudoitus tehtiin kaistaraudoitteista. Tahdistavana työvaiheena oli laatan muottityö, jossa työryhmän kokoonpano oli 2 RAM + 2 RM. Raudoitusryhmän kokoonpano oli 2 RAM + 1 RM. Betonointiryhmä säilyi samana kuin alkutilanteessa, mutta työsisältö muuttui siten, että muottien purku ja puhdistus sisällytettiin nyt muottiryhmän töihin. Kohteen kokonaisresurssit olivat 6 RAM + 7 RM.

Työkohteita muodostui 6 kpl / krs a' n. 110 m². Laatan muottikalustoa tarvittiin noin 5 / 6 krs eli 540 m² ja betonin kovettumisaika purkulujuuden saavuttamiseksi oli 15 tuntia. Runkovaiheen kokonaiskesto oli 8 tv ja kokonaisrakennusaika 23 viikkoa.

Sisävalmistusvaiheen tuotantoa ei muutettu joten rungon tuotannon nopeuttaminen äärimmilleen lyhensi rakennusaikaa vain kolme viikkoa kohteen pienestä koosta johtuen. Nopeuttamismallin tehtävien tahdistus ja aikataulut on esitetty kuvissa 63...65.

LEIRAS-TOIMISTON TEHTÄVIEN TAHDISTUS TYÖRYHMITÄIN
TYÖMENEKINÄ RATU-30%

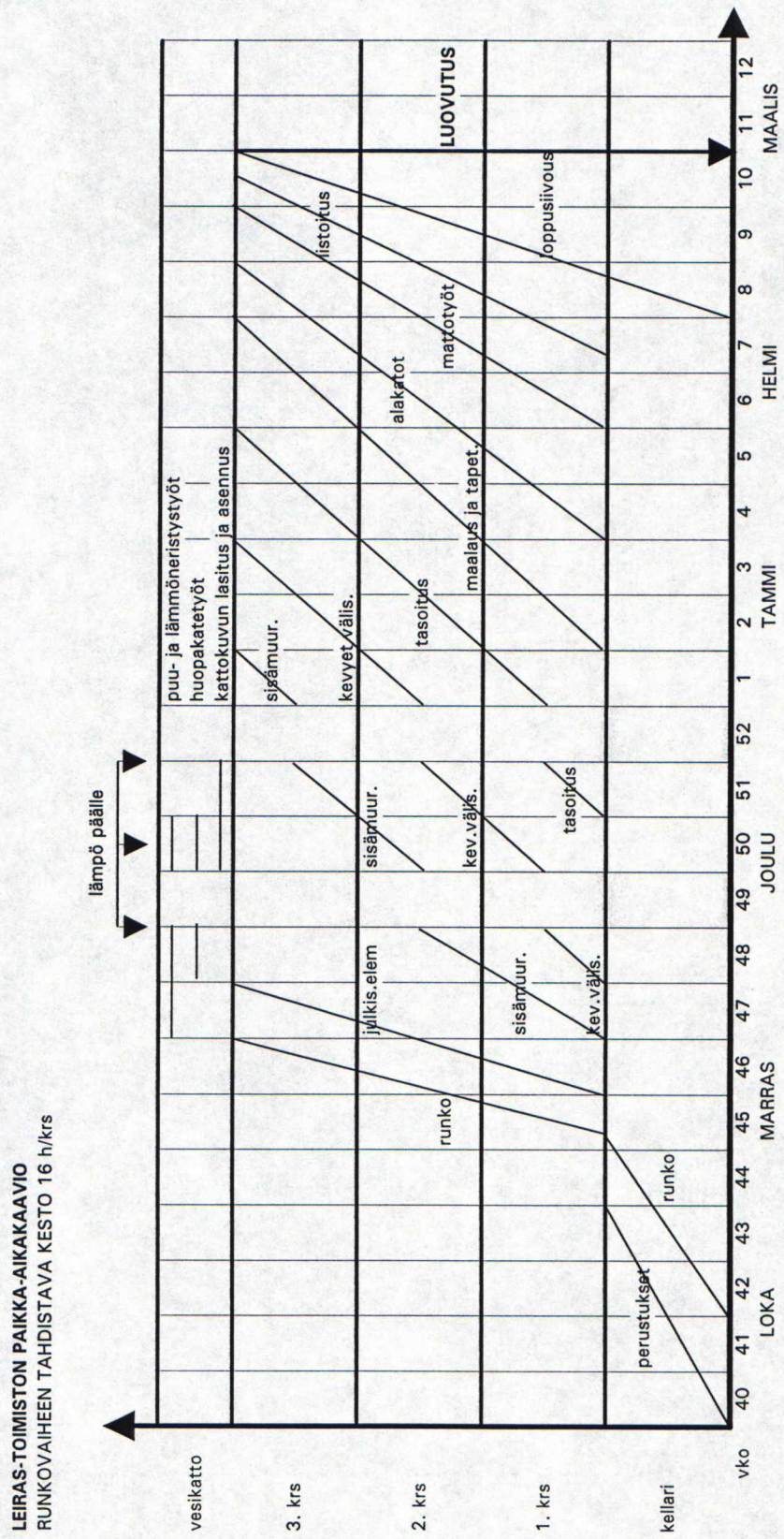
tahdistava kesto 16 h

TEHTÄVÄ	määrä/krs	yksikkö	tth/yks	tth/krs	työryhmä	tunnit	kesto h/krs
ELEMENTTIRYHMÄ				35	1-2 + 1	15	16
Pilariementtityöt yht.	22	kpl	1,015	22	1 + 1	11	10
- mittaus, pulttiasennus	22	kpl	0,140	3			
- asennus, pulttiasennus	22	kpl	0,525	12			
- juottaminen, pulttiasennus	22	kpl	0,350	8			
Seinäelementtityöt yht.	100	m2	0,126	13	2 + 1	4	6
- mittaus	100	m2	0,007	1			
- asennus	100	m2	0,070	7			
- juottaminen	100	m2	0,049	5			
LAATAN MUOTTIRYHMÄ				69	2 + 2	17	16
Muottityöt yht.	640	m2	0,109	69	2 + 2	17	16
- mittaus	640	m2	0,018	11			
- siirto ja asennus	640	m2	0,077	49			
- puhdistus ja öljyäminen	640	m2	0,014	9			
LAATAN RAUDOITUSRYHMÄ				40	2 + 1	13	16
Rauditus yht.	9600	kg	0,004	40	2 + 1	13	16
- siirto ja asennus	9600	kg	0,004	40			
LAATAN BETONOINTIRYHMÄ				47	0 + 3	16	16
Betonointityöt yht.	640	m2	0,074	47	0 + 3	16	16
- valmistelevat työt	640	m2	0,004	3			
- betonin vastaanotto	640	m2	0,011	7			
- betonointi	640	m2	0,035	22			
- lopettavat työt	640	m2	0,003	2			
- hieto ja viimeistely	640	m2	0,021	13			

tehtävä	työryhmä	tahdistus	kesto h/krs	kesto h/työk.
PYSTYRAKENTEIDEN TYÖT	1-2 + 1	16 h	16	2,5
LAATAN MUOTTITYÖT	2 + 2	16 h	16	2,5
LAATAN RAUDOITUSTYÖT	2 + 1	16 h	16	2,5
LAATAN BETONOINTITYÖT	0 + 3	16 h	16	2,5

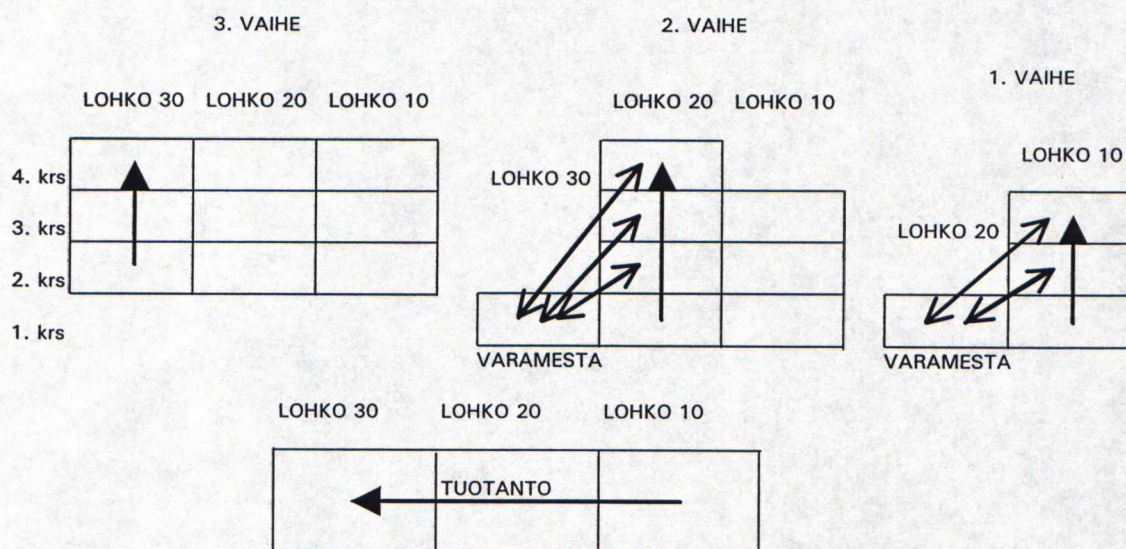
- Pilariementti, pulttiasennus.
- Seinäelementti, tönärituenta, juotosasennus.
- Laattamuottina pudotuspäällä ja siirtovaunulla varustettu pöytämuotti.
- Laatan raudoituksena kaistarauδοitteet.

Kuva 63. Runkovaiheen nopeutetun tuotannon tehtävien tahdistus.



Kuva 65. Rakennusajan lyhentämisen paikka-aikakaavio.

Rakennuksen runko on jaettu kolmeen lohkoon kukin noin 400 m², joissa kaikissa on alapohja, kaksi välipohjaa ja yläpohja. Välipohjat ovat teräsbetonisia massiivilaattoja, paksuus 240 mm ja jännemitat 8,1 * 4,2...7,2 m. Runko tehdään kahdessa tuotantolohkossa, jotka muodostuvat lohkojen 10, 20 ja 30 yhdistelmästä kuvan 67 mukaisesti.¹ Lohkojen yhdistämistä käytetään työryhmien kulun rytmittämiseen ja työkohteen koon liiallisen pienenemisen estämiseen.



Kuva 67. Kohteen runkovaiheen tuotantolohkojako.

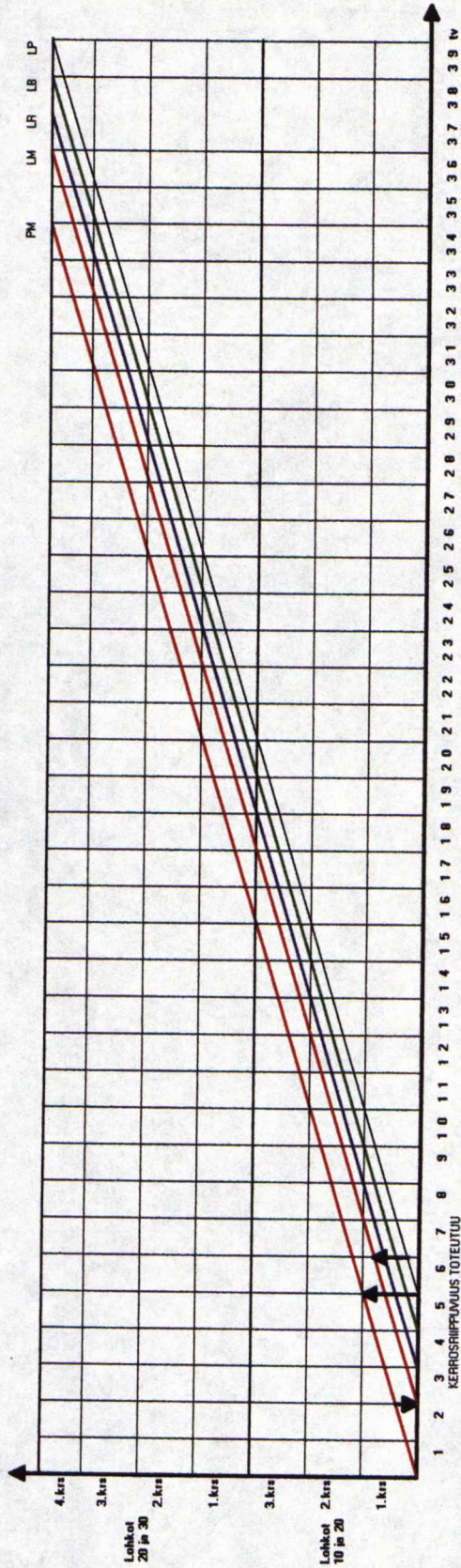
Pilareiden muottina käytetään lasikuituisia kasettimuotteja. Seinämuottina käytetään suurmuotteja. Laatan muottikalustona ovat pudotuspäällä ja siirtovaunulla varustetut pöytämuotit. Pilareiden raudoitteet ovat tehdasvalmisteisia raudoituselementtejä ja seinien raudoitus tehdään paikalla irtotangoista. Laatan raudoitus tehdään pääosin esivalmistetuista kaistaraudoitteista. Lohkon 20 laatan vinojen osien (kuva 66) raudoituksen sovittamisessa käytetään apuna raudoitusverkkoja.

Betonointi suoritetaan pumpun avulla, jolloin kohteessa oleva torninosturi on jatkuvasti käytössä muihin nostoihin ja materiaalisiirtoihin. Laatta valetaan suoraan valmiiseen pintaan, joten erillistä lattian pintavalua ei tarvita.

¹ Kiiras, 1994

KOY OFFICE POINTIN RUNKOVAIHEEN PAIKKA-AIKAKAAVIO

TAHDUSTAJA KESTO n. 80 h / 1000 krs m2



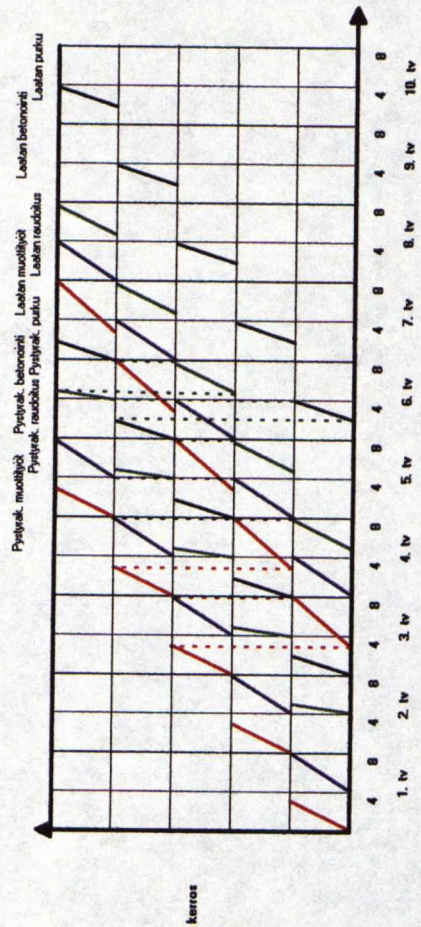
Muutiskäsitteet:
- pilaus: 2 viik.
- seinä: 2 viik.
- laatu: 3 viik.

Muutiskäsitteet:
- pilaus: 1/3 krs = 7 kpl
- seinä: 1/3 krs = 100 m2
- laatu: 3/4 krs = 380 m2

Tuotantoprosentti:
- 5 iv / karkotus + 5 iv

Rungon lisämenoajat: 39 iv

Työohjeistus:
- 5 työohjeistusta / karkotus + n. 130 m2



Betonin korvettamisella purkukustannukset:
- Pölytyöaika: 18 h
- Laatu: 41 h

Kuva 68. Koy Office Pointin runkovaiheen paikka-aikakaavio.

Kohteen runkovaiheen tuotantonopeus on 5 tv / lohko-krs + 5 tv eli n. 100 m² / tv. Tehtävien tahdistava kesto on 80 h / 1000 krs-m² rungon tuotannon läpimenoajan ollessa 5 tv. Tahdistavana työvaiheena on muottityö, jonka työryhmän kokoonpano on 1 RAM + 1 RM. Rauditusryhmän kokoonpano on myös 1 RAM + 1 RM. Betonointi- ja muottien purkutytöt tehdään työryhmällä 0 RAM + 2-3 RM. Kohteen kokonaisresurssit ovat 2 RAM + 5 RM.

Kerrokset jaetaan viiteen n. 130 m² työkohteeseen. Muottikalustotarve on pilareilla 7 kpl, seinillä 100 m² ja laatalle 380 m². Betonin kovettumisaika purkulujuuden saavuttamiseksi on pystyrakenteilla 18 ja laatalle 41 tuntia. Runkovaiheen kokonaiskesto on 39 tv.

KOy Office Pointin rungon nopeuttamista tutkittiin sisävalmistusvaiheen kanssa tahdistetun 4 tv / lohko-krs + 4 tv tuotantomallin avulla, jossa rungon tuotantonopeus oli n. 140 m² / tv. Tehtävien tahdistava kesto oli 56 h / 1000 krs-m² ja rungon tuotannon läpimenoaika 4 tv. Tahdistavana työvaiheena oli laatan muottityö, jossa työryhmän kokoonpano oli 2 RAM + 1 RM. Rauditusryhmän kokoonpano oli 1 RAM + 1 RM. Betonointiryhmä säilyi samana kuin alkutilanteessa eli 0 RAM + 3 RM. Kohteen kokonaisresurssit olivat 3 RAM + 5 RM.

Työkohteita muodostui 4 kpl / krs a' n. 170 m². Laatan muottikaluston minimitarve oli noin 380 m² ja betonin kovettumisaika purkulujuuden saavuttamiseksi oli pystyrakenteilla 15 ja laatalle 19 tuntia. Runkovaiheen kokonaiskesto oli 31 tv. Koko kohteen runkovaihe lyheni 8 työvuorokseen. Näin pienessä ja suunnitteluteknisistä ratkaisuista johtuen pienilohkoisessa kohteessa, ei rungon nopeuttamisella saavuteta merkittävää aikasäästöä. Kohteen rakennusajan lyhentämisessä on sisävalmistusvaiheen läpimenoajan lyhentäminen välttämätöntä tavoitteena olleen 30 % aikasäästön saavuttamiseksi. Tässä yhteydessä ei tutkittu sisävalmistuksen lyhentämistä.

Nopeutetun runkovaiheen tahdistettu tehtäväluettelo on esitetty kuvassa 69 ja aikataulut kuvassa 70.

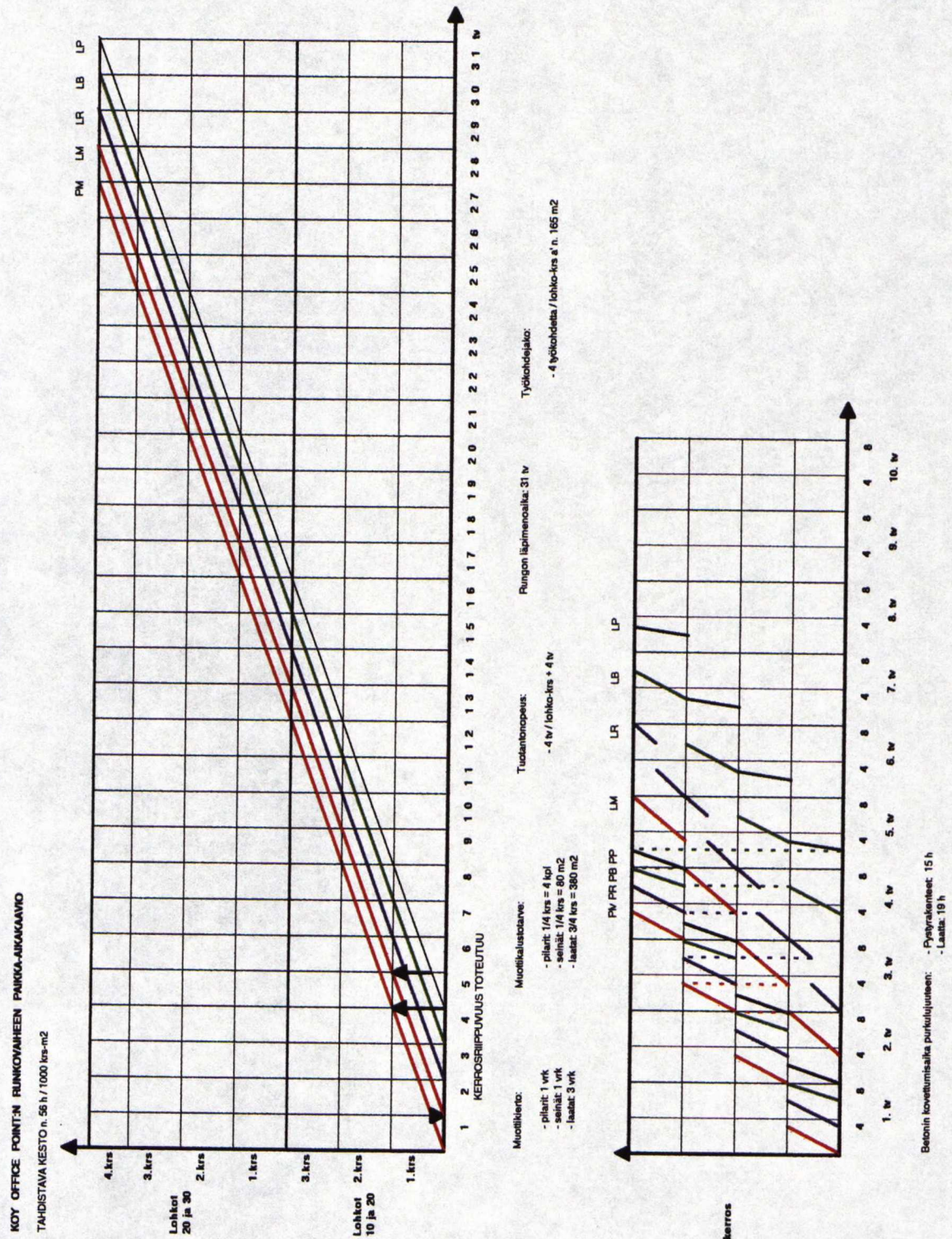
KOY OFFICE POINT:N TEHTÄVIEN TAHDISTUS TYÖRYHMITÄIN
TYÖMENEKKINÄ RATU-30%

tahdistava kesto n. 56 h / 1000 krs-m2

TEHTÄVÄ	määrä yht	yksikkö	tth/yks	tth yht	työryhmä	tunnit	lohko 10	kesto h yht	
								lohko 20	Lohko 30
Muottien esivalmistus									
- pilarit, kasettimuotti	335	m2	0,350	117	2 + 1	39			
MUOTTIRYHMÄ				488	2 + 1	163	70	60	40
Pilarien ja seinien muottityöt yht.	1250	m2	0,385	170	2 + 1	57	23	20	13
- pilarit									
- mittaus	335	m2	0,105	35					
- siirto ja asennus	335	m2	0,210	70					
- seinät									
- mittaus	915	m2	0,014	13					
- siirto ja asennus	915	m2	0,056	51					
Laatan muottityöt yht.	3367	m2	0,095	318	2 + 1	106	43	38	25
- mittaus	3367	m2	0,018	59					
- siirto ja asennus	3367	m2	0,077	259					
RAUDOITUSRYHMÄ				370	1 + 1	185	70	60	40
Pilarien ja seinien rauditus yht.	14480	kg	0,022	158	1 + 1	79	32	28	19
- pilarit									
- esivalmistus	5330	kg	0,009	49					
- siirto ja asennus	5330	kg	0,001	7					
- seinät									
- esivalmistus	9150	kg	0,005	45					
- siirto ja asennus	9150	kg	0,006	58					
Laatan rauditus yht.	50505	kg	0,004	212	1 + 1	106	43	38	25
- siirto ja asennus	50505	kg	0,004	212					
BETONINTI- JA PURKURYHMÄ				446	0 + 2-3	164	70	60	40
Pilarien ja seinien betonointityöt yht.	208	m3	0,756	76	0 + 3	25	10	9	6
- pilarit									
- valmistelevat työt	25	m3	0,028	1					
- betonin vastaanotto	25	m3	0,098	2					
- betonointi	25	m3	0,238	6					
- lopettavat työt	25	m3	0,028	1					
- seinät									
- valmistelevat työt	183	m3	0,049	9					
- betonin vastaanotto	183	m3	0,098	18					
- betonointi	183	m3	0,189	35					
- lopettavat työt	183	m3	0,028	5					
Laatan betonointityöt yht.	3367	m2	0,074	250	0 + 3	83	34	30	20
- valmistelevat työt	3367	m2	0,004	14					
- betonin vastaanotto	3367	m2	0,011	38					
- betonointi	3367	m2	0,035	118					
- lopettavat työt	3367	m2	0,003	9					
- hierto ja viimeistely	3367	m2	0,021	71					
Pystyrakenteiden purku- ja puhdistustyöt yht.	1250	m2	0,200	120	0 + 3	40	16	14	9
- pilarit									
- purku ja puhdistus	335	m2	0,189	63					
- seinät									
- purku ja puhdistus	915	m2	0,011	10					
Laatan puhdistustyöt yht.	3367	m2	0,014	47	0 + 3	16	6	6	4
- puhdistus ja öljyäminen	3367	m2	0,014	47					

- Pilarimuottina lasikuituinen kasettimuotti, pulttikiinnitys.
- Seinämuottina suurmuotti.
- Laattamuottina pudotuspäällä ja siirtovaunulla varustettu pöytämuotti.
- Laatan raudoituksena kaistaraudoitteet.

Kuva 69. Runkovaiheen tahdistettu tehtäväluettelo.

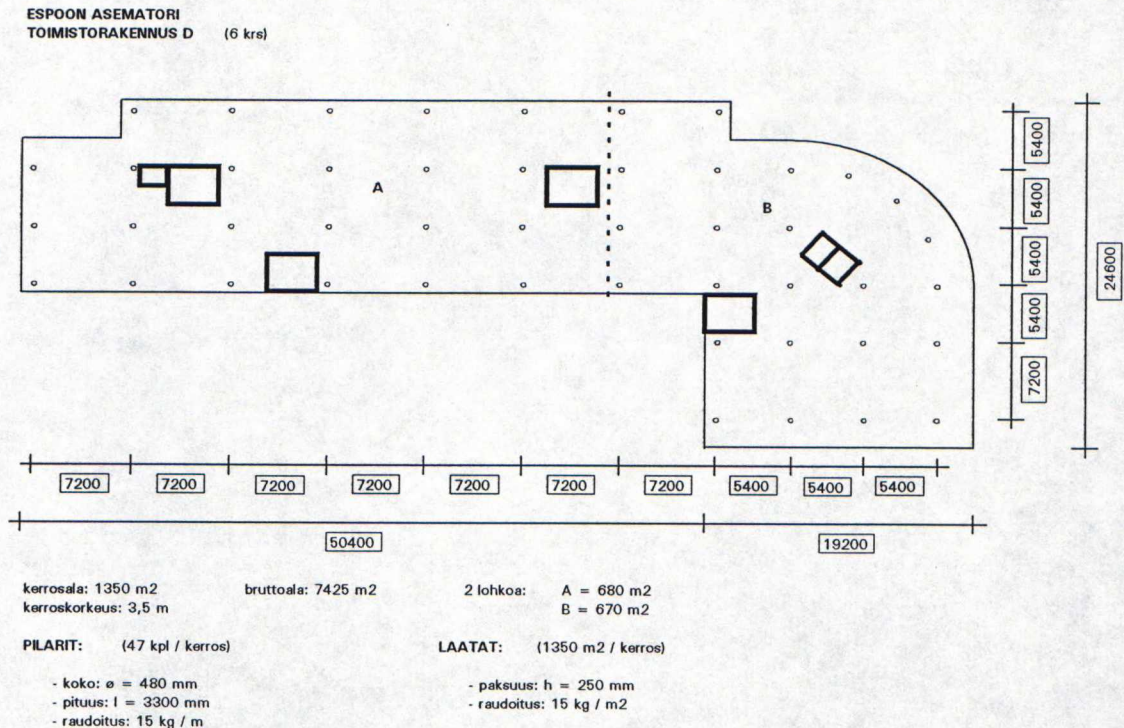


Kuva 70. Runkovaiheen paikka-aikakaavio.

6.4. Toimistorakennus D, Espoon Asematori

Esimerkkikohde Toimistorakennus D sijaitsee Espoon keskuksen Asematorilla. Kohde on kuusikerroksinen toimistorakennus laajuudeltaan n. 30000 m³ ja 7400 brm². Kohde on valmistunut vuonna 1992.

Rakennuksen runkojärjestelmä on paikallavalettu pilari-laatta-runko ja sen jäykistäjänä toimivat paikallavaletut porrashuoneiden ja osastoivat seinät. Julkisivuna on osaksi nauhaelementti ja osaksi lasi.



Kuva 71. Toimistorakennus D:n pohjapiirustus.

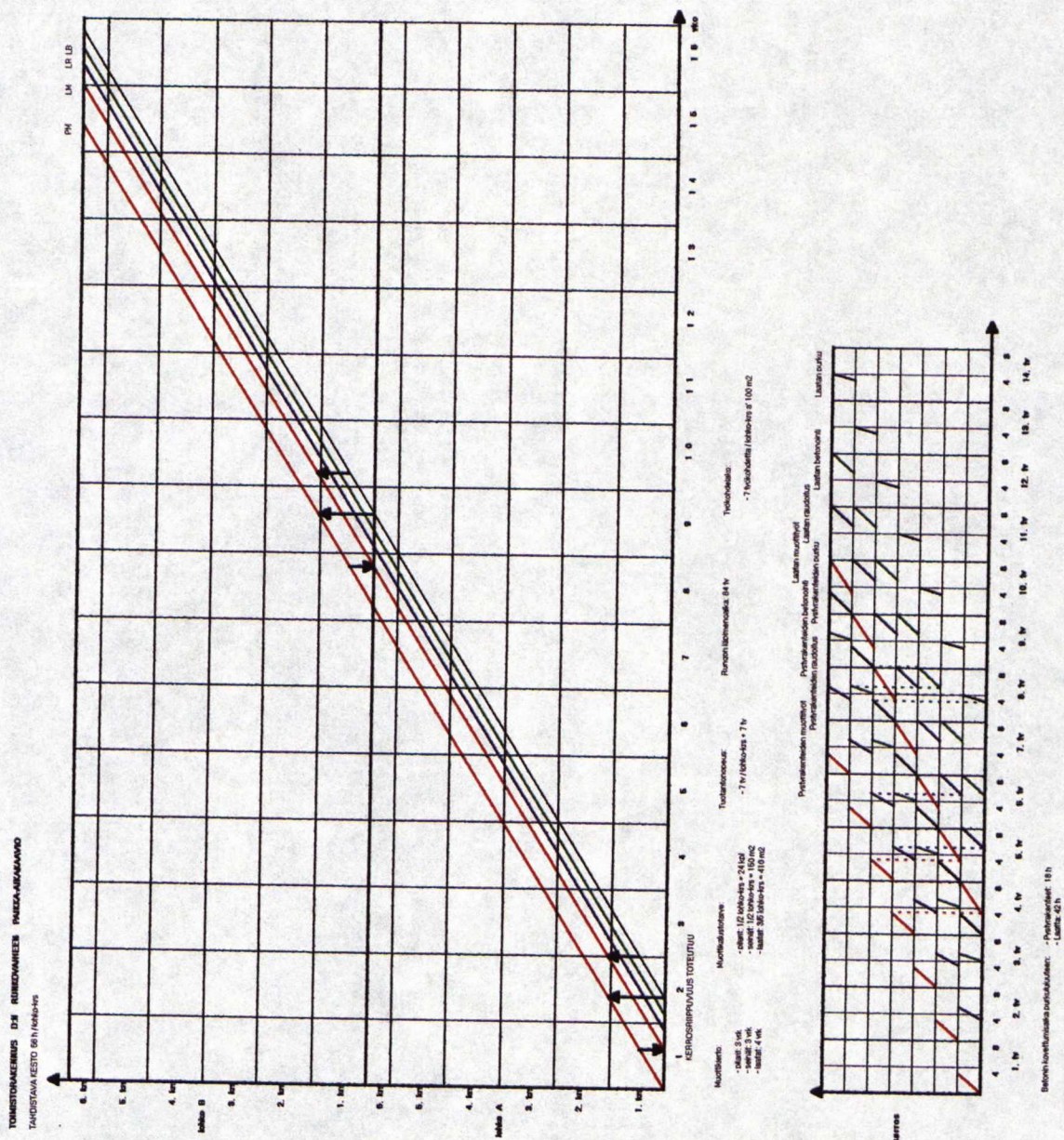
Rakennuksen runko tehdään kahdessa n. 680 m² lohossa. Pilareiden muottina käytetään lasikuituisia kasettimuotteja ja seinämuottina suurmuotteja. Laatan muottikalustona on pudotuspäällä ja siirtovaunulla varustetut pöytämuotit. Pilareiden raudoitteet ovat tehdasvalmisteisia raudoituselementtejä ja seinien rauditus tehdään paikalla irtotangoista. Laatan rauditus tehdään esivalmistetuista kaistaraudoitteista. Betonointi suoritetaan pumpun avulla. Laatta valetaan suoraan

valmiiseen pintaan, joten erillistä lattian pintavalua ei tarvita.

Kohteen runkovaiheen tuotantonopeus on 7 tv / lohko-krs + 7 tv eli n. 100 m² / tv. Tehtävien tahdistava kesto on 56 h / krs ja rungon tuotannon läpimenoaika 7 tv. Tahdistavana työvaiheena on muottityö, jonka työryhmän kokoonpano on 1 RAM + 1 RM. Rauditusryhmän kokoonpano on myös 1 RAM + 1 RM. Betonointi- ja muottien purkutyöt tehdään työryhmällä 0 RAM + 2-3 RM. Kohteen kokonaisresurssit ovat 2 RAM + 5 RM.

Lohkossa kerrokset jaetaan seitsemään n. 100 m² työkohteeseen. Pilarimuotteja tarvitaan 24 kpl, seinämuotteja 150 m² ja laatan pöytämuotteja vähintään 240 m². Betonin kovettumisaika purkulujuuden saavuttamiseksi on pystyrakenteilla 18 ja laatalla 42 tuntia. Runkovaiheen kokonaiskesto on 84 tv.

Kohteen runkovaiheen paikka-aikakaavio on esitetty kuvassa 72.



Kuva 72. Toimistorakennus D:n runkovaiheen paikka-aikakaavio.

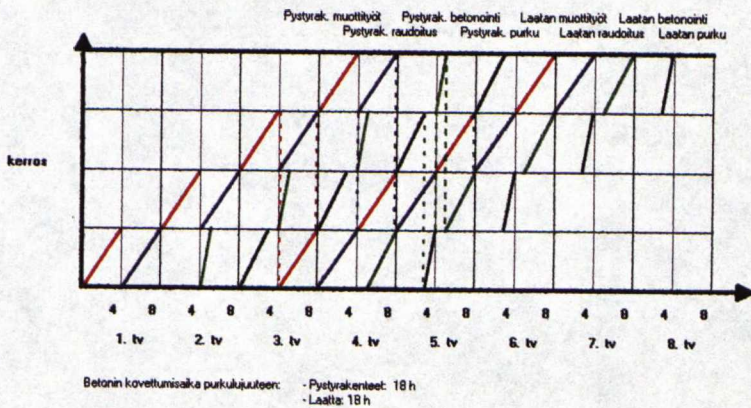
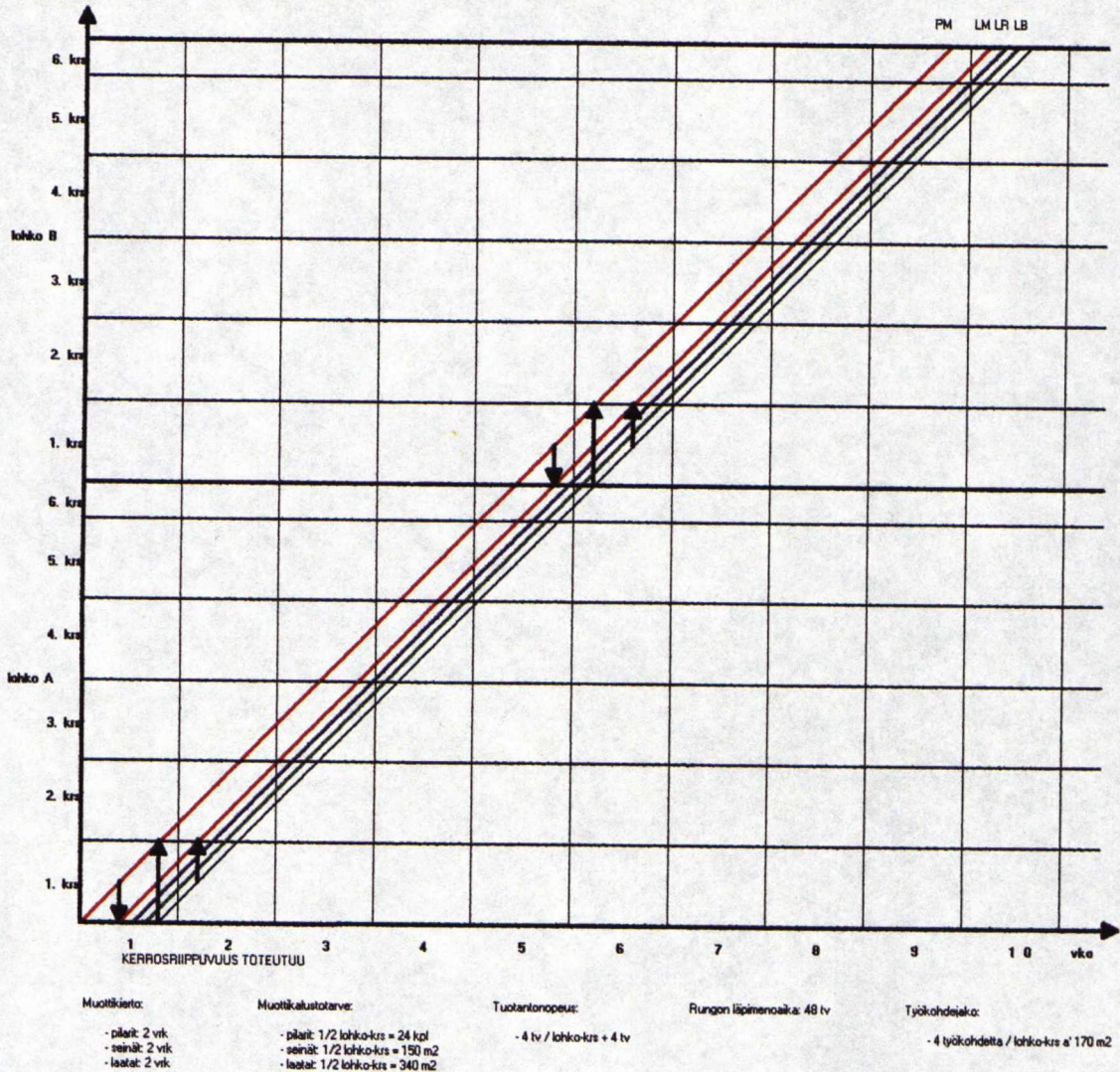
Toimistorakennus D:n rungon nopeuttamista tutkittiin 4 tv / krs + 4 tv tuotantomallin avulla, jossa rungon tuotantonopeus on n. 170 m² / tv. Tehtävien tahdistava kesto oli 32 h / krs ja rungon tuotannon läpimenoaika 4 tv. Tahdistavana työvaiheena oli laatan muottityö, jossa työryhmän kokoonpano oli 2 RAM + 1 RM. Raudoitusryhmän kokoonpano oli 1 RAM + 1 RM. Betonointiryhmä säilyi samana kuin alkutilanteessa eli 0 RAM + 3 RM. Kohteen kokonaisresurssit olivat 3 RAM + 5 RM.

Työkohteiden määrä väheni ja koko kasvoi tuotannon nopeutuksessa. Työkohteita muodostui 4 kpl / krs a' n. 170 m². Laatan muottikaluston minimitarve oli noin 340 m². Betonin kovettumisaika purkulujuuden saavuttamiseksi oli pystyrakenteilla ja laatalle 18 tuntia. Runkovaiheen kokonaiskesto oli nyt 48 tv. Runkovaiheen kokonaiskesto lyheni siis 36 työvuoroa.

Rungon nopeutetun tuotannon paikka-aikakaavio on esitetty kuvassa 73.

TOIMISTORAKENNUS D-N RUNKOVAIHEEN PAIKKA-AIKAKAAVIO

TAHDISTAVA KESTO 32 h / lohko-krs



Kuva 73. Nopeutetun runkovaiheen paikka-aikakaavio.

7. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen tavoitteena oli nopeuttaa paikallavalettavan pilari-laatta -rungan tuotantoa siten, että kokonaisrakennusaika lyhenee 30 % nykyisestä. Tuotantoa nopeutettiin työsuunnittelun ja lohkokotekniikan avulla.

Tavoitteen saavuttamiseksi luotiin menettely paikallavalurungon tuotannon suunnittelemiseksi ja toteuttamiseksi OPAS ja TURVA -mallin mukaisena tahdistettuna tuotantona. Tutkimuksessa luotiin malli hypoteettisen kohteen rungon tuotannon nopeuttamiseen työsuunnittelun avulla ja selvitettiin rungon nopeuttamisen vaikutuksia sisävalmistusvaiheen tuotantoon. Mallia testattiin kolmessa esimerkkikohteessa.

Tuotannon nopeuttamismallin lähtökohtana oli tyypillisen toimistorakennuksen paikallavalurungon nykyinen tuotantotekniikka. Tutkimusaineistona käytettiin paikallavalutuotannosta ja toimistorakennuksen tuotantomalleista olemassaolevaa kirjallisuutta ja esimerkkikohteiden suunnitelmia.

Hankkeen kokonaisrakennusaikaa lyhennetään nopeuttamalla tehtäviä, lyhentämällä eri tehtävien aloitusvälejä ja vähentämällä tehtävien lukumäärää. Koska paikallavaletun rungon tehtäviä ei voida vähentää, lyhennetään runkovaiheen kokonaiskesto työvaiheita nopeuttamalla ja aloitusväliä lyhentämällä. Rungon tuotannon nopeuttaminen lyhentää rakennusaikaa yhtä paljon kuin sisävalmistusvaiheen aloitus aikaistuu. Rungon nopeuttamisella saavutettavan rakennusajan säästön suuruus riippuu kohteen laajuudesta.

Pienen kohteen kokonaisrakennusaika ei lyhene merkittävästi yksinomaan rungon nopeuttamisen ansiosta, koska runkovaiheen kesto on normaalissakin tuotannossa lyhyt koko rakennusaikaan verrattuna. Pienen kohteen rakennusaikaa lyhennetään rungon nopeuttamisen ja sisävalmistusvaiheen läpimenoajan lyhentämisen avulla. Runkoa nopeutetaan siten, että se tahdistuu sisävalmistuksen kanssa. Sisävalmistuksen läpimenoajan lyhen-

täminen tapahtuu tehtävien lukumäärää vähentämällä tai aloitusväliä pienentämällä. Tehtävien lukumäärää vähennetään niiden työsisältöä laajentamalla. Koska kokonaistyömäärä ei muutu, lyhentää työsisällön laajentaminen rakennusaikaa. Aloitusvälin lyhentäminen pienentää käytössä olevien työkohteiden kokoa ja tuotannon häiriöherkkyys kasvaa.

Pienen kohteen rakennusajan lyhentäminen edellyttää betonin nopeaa kuivumista. Sisävalmistuksen läpimenoajan lyheneminen pienentää laatan betonoinnin ja mattotöiden välistä aikaa, joten betonin kuivumiseen käytettävissä oleva aika lyhenee.

Suuren ja keskisuuren, monikerroksisen tai monta lohkoa sisältävän, kohteen kokonaisrakennusaika lyhenee merkittävästi rungon nopeuttamisen vaikutuksesta. Runkovaiheen tuotannon nopeuttamisella saavutettava rakennusajan säästö suurenee hankkeen koon kasvaessa. Laajuuden kasvaessa hanke on jaettava useampaan lohkoon, jolloin käytettävissä olevien työkohteiden määrä kasvaa. Nopean rungon ansiosta sisävalmistusvaiheen työt voivat olla käynnissä useammassa lohkossa tai kerroksessa samaan aikaan.

Paikallavalurungon tuotannon nopeuttamismallin tarkoituksena on ohjata ja kehittää rungon aikataulusuunnittelua sekä tuotannon ohjausta.

Paikallavalurungon tuotannon nopeuttaminen edellyttää tuotantonopeuden kasvattamista ja tuotannon läpimenoajan lyhentämistä sekä työkohteen koon suurentamista. Tuotantonopeutta kasvatetaan lisäämällä resursseja. Lisäresurssit voivat olla tehtäville yhteisiä tai erillisiä. Tehtävien keskinäinen tahdistaminen edellyttää usein yhteisten lisäresurssien käyttöä, jotta yksittäisten tehtävien kestot työkohteessa tahdistuisivat keskenään.

Rungon työvaiheet tahdistetaan muottityön mukaan. Raudoitustyöt teetetään usein aliurakkana, jolloin töiden jatkuvuus ja

resurssien käytön tasaisuus voidaan suunnitella muusta tuotannosta poikkeavaksi.

Paikallavalurungon tuotannon nopeuttamista säätelevät tuotantotekniikasta johtuva kerrosriippuvuus, työvuoron pituuteen sidottu päiväriippuvuus sekä muottikaluston määrään vaikuttava muottikalustoriippuvuus. Kerrosriippuvuus tarkoittaa sitä, että alemman kerroksen laatan on oltava kovettunut muottien purkulujuuteen ennen saman työkohteen yläpuolella olevan seuraavan kerroksen pystyrakenteiden muottityön aloittamista. Kerrosriippuvuus ja päiväriippuvuus määräävät yhdessä tuotannon nopeuttamiseen käytettävissä olevat tehtävien tahdistavat kestot. Tahdistavien kestojen on oltava jaollisia käytettävän työvuoron pituudella. Tuotannon nopeuttamismallin mukainen tahdistava kesto on lyhyimmillään 16 tuntia eli kaksi normaalia kahdeksantuntista työvuoroa tuhatta kerrosneliötä kohden.

Rungon tuotannon nopeuttaminen edellyttää suurempaa muottikaluston määrää ja nopeasti kovettuvien betonilaatujen käyttöä rungon rakenteissa. Muottien kiertoajan lyheneminen tuotantonopeuden kasvamisen seurauksena pienentää betonin kovettumiseen käytettävissä olevaa aikaa. Betonin kovettumisaika muottien purkulujuuden saavuttamiseksi on normaalia työvuoroa käytettäessä lyhyimmillään yhden yön yli eli noin 15 tuntia.

SUhteellisia tuotantonopeuksia

	Rungon tuotantomalli	Rungon tuotantonopeus	Tuotannon läpimenoaika	Minimi muottikalusto	Betonin kovettumisaika purkulujuuteen	
perustapaus	2 vk / 1000 krs-m ²	100 m ² / pv	10 pv	600 m ²	50 h	kasettimuottipilarit, suurmuottiseinät ja laatan pöytämuotti kaistaraudoitteet
nopea	1 vk / 1000 krs-m ²	200 m ² / pv	5 pv	600 m ²	46 h	monitoimityökunnat
ääritapaus	2pv / 1000 krs-m ²	500 m ² / pv	2 pv	800 m ²	15 h	elementtipystyrakenteet tai mastopila ja paikallavalettu laatta
RATU-aikataulukirja	2 vk / 1000 krs-m ²	100 m ² / pv	10 pv			raudoitus tahdistavana työvaiheena

Kuva 74. Paikallavaletun pilari-laatta -rungon tuotannon nopeuttamisen tunnuslukuja.

Rungon tuotannon nopeuttaminen ja rakennusajan lyhentäminen lisää tuotannon häiriöherkkyyttä ja ohjauksen tarvetta. Hankkeen työnaikainen ohjaus on johtamistoimintaa, jolla varmistetaan tuotannon suunnitelmien mukainen eteneminen ja laatutaso. Ohjaus pienentää tehtävien kestoja hajontaa. Tehtävien aloitukset ja suunniteltu tuotantonopeus ovat keskeiset ohjauskohteet. Ohjauksen merkitys on suuri tuotannon myöhästymishäiriöiden pienentämisessä. Kireän ja tiukasti ohjatun aikataulun myöhästymishäiriöt ovat pienemmät kuin ohjaamattoman ja löysän aikataulun.

Paikallavalurungon tuotannon nopeuttamisesta aiheutuu lisäkustannuksia lähinnä betonin kalliimman materiaalihinnan, suuremman muottikalustomäärän ja valutyöhön tarvittavan lisänostokaluston johdosta. Betonin lujuusluokan kasvattaminen tai kovettumis- ja kuivumisajan lyhentäminen lisäävät oleellisesti sen materiaalikustannuksia. Tuotannon nopeuttaminen edellyttää normaalia suurempaa muottikaluston määrää. Muottikaluston lisäämisestä aiheutuvat kustannukset jäävät betonin materiaalikustannuksia merkittävästi pienemmiksi.

Kun rakennusaikainen korko otetaan huomioon ja kohteen aikaisemmasta valmistumisesta syntyy säästöä, on normaalia lyhyempi hankkeen toteutus perusteltua. Kokonaisrakennusajan lyhenemisestä aiheutuva kustannussäästö on merkittävä etu kireässä kilpailutilanteessa. Lyhyt rakennusaika on sekä tilaajan että toteuttajan kannalta taloudellisempaa kustannussäästöjen vuoksi.

LÄHDELUETTELO

Björklund L., 1977, Asiakasohjautuvan tuotannonohjauksen kehittäminen soluorganisoidussa konepajassa, Espoo, Teknillinen korkeakoulu, Koneinsinööriosasto, diplomityö, 147 s.

Burbidge J., 1989, Production flow analyses, Clarendon Press

Hannukkala H. & Kankainen J., 1991, Suurtehtävien käyttö rutiinituotannon työnsuunnittelussa ja ajallisessa ohjauksessa, Espoo, Teknillinen korkeakoulu, Rakentamistalouden laboratorion raportti 86, 83 s.

Kiiras J., 1988, OPAS JA TURVA, Erityiskohteen työnaikaista ohjausta palveleva aikataulu- ja resurssisuunnittelu, Espoo, Teknillinen korkeakoulu, Rakentamistalouden laboratorio, 24 s.

Kiiras J., 1989, Erityiskohteiden työnaikaista ohjausta palveleva aikataulu- ja resurssisuunnittelu, Espoo, Teknillinen korkeakoulu, Rakentamistalouden laboratorio, käsikirjotus, 27 s.

Lampinen L. & Honkavuori R., 1991, Betonitekniikan oppikirja, by 201, Jyväskylä, Suomen Betoniyhdistys r.y., 506 s.

Lehikoinen R., 1993, Pilarilaatan muottitekniikka, Helsinki, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Rakennusosasto, diplomityö, 121 s.

Lutz J. & Hijazi A., Planning repetitive construction: Current practice, Auburn, Auburn University, Department of Civil Engineering

Nieminen J. & Rautiainen L., 1990, Betonirakenteiden kosteudenmittaus työmaaolosuhteissa ja päällystettävyyysvaatimukset, Espoo, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tiedotteita 1129, Valtion painatuskeskus, 34 s.

Niiranen M., 1991, Talonrakentamisen tuotantomallit ja aikataulun hallittavuus, Espoo, Teknillinen korkeakoulu, Rakentamistalouden laboratorio, lisensiaattityö, 180 s.

Nousiainen A., 1992, Rakennusajan lyhentäminen rutiinituotannossa, Espoo, Teknillinen korkeakoulu, Rakennus- ja maanmittaustekniikan osasto, diplomityö, 101 s.

Nykänen V. & Kiviniemi M., 1992, Logistiikan kehittäminen rakennustuotannossa, Tampere, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Rakennustuotantolaboratorio, raportti, 37 s.

Pelin R., 1988, Projektin suunnittelun ja valvonnan menetelmät, Helsinki, Insinööritieto Oy, 164 s.

Pilcher R., 1992, Principles of construction management, Third edition, London, McGraw-Hill, 584 s.

Porkka-Aarnivuo P., 1989, Aikataulun häiriöherkkyys, Espoo, Teknillinen korkeakoulu, Rakennus- ja maanmittaustekniikan osasto, diplomityö, 117 s.

Punakallio E., 1986, Betonin valintaohje, Espoo, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Betoni- ja silikaattitekniikan laboratorio, 25 s.

Punakallio E. & Mertanen J., 1988, Muottien valinta ja käyttö sekä mitoitus ja kunnossapito, Espoo, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Betoni- ja silikaattitekniikan laboratorio, 77 s.

RATU-aikataulukirja, 1990, Hanko, Rakennuskirja Oy, 209 s.

Sainio O., Honkavuori R., Kallberg E., Lampinen L., 1985, Betonirakenteiden perusteiden oppikirja, by 203, Jyväskylä, Suomen Betoniyhdistys r.y., 300 s.

Schonberger R., 1985, World Class Manufacturing, The Lessons of Simplicity Applied (Suom. WCM), The Free Press, 297 s.

Soini M., Erityiskohteiden ajan ja resurssien suunnittelu sekä työnaikainen ohjaus, Espoo, Teknillinen korkeakoulu, Rakennus- ja maanmittaustekniikan osasto, diplomityö, 109 s.

Suomen Betoniyhdistys r.y., 1993, Paikallavaletun rakennuksen mallisuunnitelmat, by 38-2, Jyväskylä, Rakennusteollisuuden Keskusliitto, 241 s.

Toikkanen S., 1992, Rutiinituotannon sisävalmistusvaiheen lyhentäminen solutuotantoperiaatteella, Espoo, Teknillinen korkeakoulu, Rakennus- ja maanmittaustekniikan osasto, diplomityö, 95 s.

Tuominen J., 1993, Erityiskohteen tuotannon suunnittelu OPAS-menettelyllä ja työnaikainen valvonta ja ohjaus TURVA-menettelyllä, Espoo, Teknillinen korkeakoulu, Rakennus- ja maanmittaustekniikan osasto, diplomityö, 86 s.